ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1913 Г. ТОМЪ 14. № 5.

Труды Михаила Васильевича Ломоносова по физикѣ.

Г. Г. Де-Метца[1].

„Ежели Богъ велитъ, покажу хотя нѣкоторый приступъ ко всѣмъ мнѣ знаемымъ наукамъ. Я самъ не совершу, однако, начну, то будетъ другимъ послѣ меня легче дѣлать".

Такъ думалъ М. В. Ломоносовъ, и эти слова показываютъ намъ, что его интересовала не одна какая нибудь наука, не одна глава данной науки, а цѣлая совокупность естественныхъ наукъ его времени: химія, физика, минералогія, техническая химія и т. д. При этомъ его интересовали по преимуществу широкія задачи, въ которыхъ различныя науки объединялись и обобщались. Онъ не предавался продолжительному и детальному изученію отдѣльныхъ вопросовъ, усовершенствованію приборовъ, производству отдѣльныхъ опытовъ; ибо эта сторона умственной дѣятельности его не удовлетворяла. У Ломоносова была счастливая способность къ широкимъ обобщеніямъ, къ строгимъ логическимъ построеніямъ: онъ обладалъ особымъ научнымъ

[1]) Рѣчь, произнесенная 21 ноября 1911 г. на праздновании въ Императорскомъ университетѣ св. Владиміра двухсотлѣтія со дня рожденія М. В. Ломоносова. Программа этого торжества была слѣдующая: 1) Вступительное слово ректора университета Н. М. Цытовича. 2) Жизнь и личность М. В. Ломоносова, рѣчь проф. В. Н. Перетца. 3) Труды М. В. Ломоносова по химіи—рѣчь проф. А. В. Сперанскаго. 4) Труды М. В. Ломоносова по физикѣ—рѣчь проф. Г. Г. Де-Метца. 5) Труды М. В. Ломоносова по минералогіи и геологіи—рѣчь проф. П. Я. Армашевскаго. 6) М. В. Ломоносовъ въ исторіи русскаго языка и литературы—рѣчь проф. А. М. Лободы.

чутьемъ и даже родомъ предвидѣнія и умѣло пользовался этими рѣдкими дарами природы. Какъ на его современниковъ, такъ и на насъ, его писанія и научныя разсужденія производятъ глубокое впечатлѣніе и вызываютъ явное восхищеніе. Въ нихъ чувствуется геніальность автора.

Вотъ, напримѣръ, отзывъ знаменитаго Л. Эйлера, современника Ломоносова: „всѣ записки Ломоносова по части физики и химіи не только хороши, но превосходны, ибо онъ съ такою основательностью излагаетъ любопытнѣйшіе, совершенно неизвѣстные и неизъяснимые для величайшихъ геніевъ предметы, что я вполнѣ убѣжденъ въ вѣрности его объясненій. При этомъ случаѣ я готовъ отдать г. Ломоносову справедливость, что онъ обладаетъ счастливѣйшимъ геніемъ для открытія физическихъ и химическихъ явленій, и желательно было бы, чтобы всѣ прочія академія были въ состояніи производить открытія, подобныя тѣмъ, которыя совершилъ г. Ломоносовъ“.

Читая теперь творенія Ломоносова, я не только дивился силѣ и глубинѣ его ума, изяществу и простотѣ его логическихъ операцій, но и хотѣлъ постигнуть его пріемы мышленія. Меня поражало, что Ломоносовъ дѣлаетъ множество вѣрныхъ выводовъ, исходя изъ сравнительно небольшаго числа принятыхъ имъ положеній. Онъ цѣнитъ опытъ, называетъ его достовѣрнымъ искусствомъ, но не злоупотребляетъ имъ. Опытъ лишь направляетъ его мыслительный аппаратъ, но невѣдомыя глубины природы Ломоносовъ освѣщаетъ иначе. Я постараюсь обнажить предъ вами процессъ его мысли, пользуясь его-же словами и образами.

Такъ, напримѣръ, онъ говоритъ: „безполезны тому руки, кто къ разсмотрѣнію открытыхъ вещей очей не имѣетъ. Химія руками, математика очами физическими по справедливости называться можетъ“. „Какой свѣтъ могъ пролить въ этой наукѣ (химіи) посвященный въ тайны математики, хорошо видно уже по нѣкоторымъ главамъ естественныхъ наукъ, обработанныхъ математически, какъ гидравлика, аэрометрія, оптика и др.; все, что было въ этихъ наукахъ темно, сомнительно и невѣрно, математики сдѣлали яснымъ, вѣрнымъ и очевиднымъ“.

И этотъ взглядъ онъ настойчиво проводитъ въ своихъ сочиненіяхъ. Его „Элементы математической химіи 1741 г.", „Математической теоріи электричества" и многія другія произведенія суть очень любопытныя научныя работы по манерѣ и плану изложенія. Онѣ дѣйствительно написаны по образцу книгъ математическаго содержанія, которое разбито на небольшія предложенія съ подраздѣленіями на: опредѣленія, изъясненія, присовокупленія, аксіомы, леммы, теоремы, доказательства, причемъ все это строго соразмѣрено и уравновѣшено такъ, чтобы одно предложеніе логически вытекало изъ предъидущаго. Потребность все анализировать, всему находить свое мѣсто въ опредѣленной системѣ идей есть основное свойство ума Ломоносова. Разсуждая о многочисленныхъ опытахъ, которые были сдѣланы разными великими учеными въ области химіи и физики, онъ задаетъ себѣ вопросъ: для чего они были произведены, и немедленно отвѣчаетъ: „для того-ли только, чтобы, собравъ великое множество разныхъ вещей и матерій въ безпорядочную кучу, глядѣть и удивляться ихъ множеству, не размышляя о ихъ расположеніи и приведеніи въ порядокъ". Отсюда мы видимъ, что главною задачею науки и ученаго онъ считаетъ систематизированіе добытаго матеріала, а систематизированіе непремѣнно должно идти параллельно какой либо теоріи. И, дѣйствительно, во всѣхъ трудахъ Ломоносова видѣнъ теоретикъ, философъ, подчиняющій свою экспериментальную дѣятельность требованіямъ руководящей идеи. Но, какъ выдающійся естествоиспытатель и большой критическій умъ, онъ ставитъ очень высоко всякій экспериментъ, „достовѣрное искусство", и говоритъ въ одномъ мѣстѣ: „нынѣ ученые люди, а особливо испытатели натуральныхъ вещей, мало взираютъ на родившіеся въ одной головѣ вымыслы и пустыя рѣчи, но больше утверждаются въ достовѣрномъ искусствѣ". Развивая эту мысль, онъ прибавляетъ: „мы кромѣ другихъ заслугъ Картезія особливо за то благодарны, что тѣмъ ученыхъ людей ободрилъ противъ Аристотеля, противъ себя самого и противъ прочихъ философовъ къ правдѣ спорить и тѣмъ самымъ открылъ дорогу къ вольному философствованію и къ вящему наукъ приращенію". „Я не презираю сего славнаго (Аристотеля) и въ свое время отмѣннѣйшаго

отъ другихъ философа, но тѣмъ не безъ сожалѣнія удивляюсь, которые про смертнаго человѣка думали, будто бы онъ въ своихъ мнѣніяхъ не имѣлъ никакого погрѣшенія, что было главнымъ препятствіемъ къ приращенію философіи и прочихъ наукъ, которыя отъ нея много зависятъ".

Отсюда, я думаю, становится вполнѣ понятнымъ цѣльность и законченность міросозерцанія Ломоносова; у него новое не просто ложилось рядомъ со старымъ, а всегда перерабатывалось, расширяя, углубляя или-же видоизмѣняя его.

II.

Попробуемъ теперь разобраться во вкусахъ Ломоносова, какъ ученаго, и опредѣлить его спеціальность. Съ этою цѣлью мы прослѣдимъ за его научнымъ образованіемъ, которое началось съ его поѣздки въ Германію, въ 1736 г., гдѣ онъ провелъ нѣсколько лѣтъ къ ряду подъ руководствомъ выдающихся спеціалистовъ того времени. Между ними наибольшее вліяніе на формировавшагося молодого ученаго безпорно оказалъ профессоръ Христіанъ Вольфъ, у котораго въ Марбургѣ Ломоносовъ слушалъ ариѳметику, геометрію, тригонометрію, механику, логику, метафизику, догматическую и экспериментальную физику. Тамъ-же подъ руководствомъ проф. Дуйзинга онъ изучалъ химію; металлургію онъ изучалъ позже во Фрейбергѣ у проф. Генкеля.

Все это показываетъ намъ, что Ломоносовъ прошелъ очень основательную школу, усердно изучалъ естествознаніе, математику и философію, а потому и неудивительно, что при его огромномъ и разнообразномъ природномъ дарованіи онъ достигъ не только выдающихся знаній, но и умѣнья критически во всемъ разбираться и создавать новое.

Между всѣми его учителями безпорно первое мѣсто занималъ Вольфъ, котораго онъ глубоко почиталъ и любилъ. Въ предисловіи къ русскому переводу „Вольфіанской физики" [1]), принадлежащему перу самого Ломоносова, онъ

---

[1]) Вольфіанская экспериментальная физика съ нѣмецкаго подлинника на латинскомъ языкѣ сокращенная, съ котораго на россійскій языкъ перевелъ Михайло Ломоносовъ. Напечатана вторымъ тисненіемъ въ Санктпетербургѣ при Императорской Академіи Наукъ. 1760. 183 стр. in 12° съ 7 таб. чертежей.

называетъ Вольфа славнымъ авторомъ сего и другихъ сочиненій, который „всегда пребудетъ достоинъ чтенія, а особливо ради внятнаго и порядочнаго расположенія мыслей". Вольфъ былъ не только выдающимся ученымъ своего времени, но и обаятельною личностью, а потому имѣлъ огромное вліяніе на развитіе талантливаго и воспріимчиваго студента Ломоносова. Даже по окончаніи курса наукъ въ Германіи и по возвращеніи въ Россію Ломоносовъ не забывалъ своего учителя и нерѣдко переписывался съ нимъ. Что Ломоносовъ не переоцѣнивалъ значенія Вольфа, видно изъ подробнаго перечисленія оффиціальныхъ титуловъ Вольфа, которое я нашелъ въ предисловіи Ломоносова: „баронъ Христіанъ Вольфъ, Королевскій Тайный Совѣтникъ, въ Гальскомъ Университетѣ Канцлеръ и въ ономъ Старшій Профессоръ Юриспруденціи, здѣшней (С.-Петербургской) Академіи Наукъ, также и Королевскихъ Академій Наукъ Парижской и Берлинской и Королевскаго-жъ Лондонскаго Ученаго Собранія Членъ".

Самъ Ломоносовъ считалъ, что главная его профессія— химія, а не физика, а между физическими вопросами сильнѣе всего онъ интересовался изслѣдованіями относительно причины цвѣтовъ различныхъ тѣлъ, опытами надъ изготовленіемъ мозаики и мозаичнымъ художествомъ по образцамъ лучшихъ произведеній Рима, которые его замѣтно увлекали.

Съ такимъ самоопредѣленіемъ Ломоносова разошлась исторія науки, и по свидѣтельству проф. П. И. Вальдена [1]), даже имя Ломоносова, какъ химика, было мало извѣстно и не успѣло попасть въ исторію химіи, но какъ физика его больше знали на Западѣ; заговорили о Ломоносовѣ черезъ 90 лѣтъ послѣ его смерти, а на труды его обратили вниманіе лишь въ 1900 г., когда исполнилось 150 лѣтъ со времени основанія первой русской химической лабораторіи.

Эту книгу я досталъ съ большимъ трудомъ, такъ какъ ея не оказалось ни въ библіотекѣ университета св. Владиміра, ни въ продажѣ; приношу мою глубокую благодарность Н. В. Стороженко, г. директору Кіевской Императорской Александровской гимназіи, за то, что онъ предоставилъ мнѣ возможность ознакомиться съ этою рѣдкою и интересною книгою, и г. преподавателю этой гимназіи А. Е. Любанскому за то, что онъ отыскалъ для меня эту книгу въ гимназической библіотекѣ.

[1]) П. И. Вальденъ. Ломоносовскій сборникъ. Спб. 1911, стр. 132.

Такая оцѣнка меня удивляетъ. Вѣдь Ломоносовъ на 17 лѣтъ раньше Лавуазье не только высказалъ постулатъ о вѣчности вещества, а вѣдь это уже безсмертная заслуга. Конечно, самый постулатъ въ его общей формѣ былъ не новъ. Еще Лукреций [1]) писалъ:

„Вѣрно одно: вещество не сбито въ плотную массу. Ибо мы видимъ, что каждый предметъ подлежитъ умаленью, и что со временемъ онъ убываетъ мало по мало. И наконецъ, отъ ветхости исчезаетъ отъ виду. Но тѣмъ не менѣе сумма всего остается, какъ видно, та-же всегда, потому что изъ тѣлъ одни убываютъ вмѣстѣ съ уходомъ частицъ, другія же вмѣстѣ съ приходомъ тѣхъ же частицъ получаютъ приростъ въ одинаковой мѣрѣ“.

Но эти поэтическія мечты Лукреція нельзя же ставить на одну высоту съ лабораторною работою Ломоносова, писавшаго: „оными опытами нашлось, что славнаго Роберта Бойла мнѣніе ложно, ибо безъ пропущенія внѣшняго воздуха вѣсъ соженнаго металла остается въ одной мѣрѣ“, такъ какъ этими опытами онъ создалъ основаніе современной химіи и показалъ, что сумма вѣсовъ тѣлъ, входящихъ въ данную реакцію, равна суммѣ вѣсовъ тѣлъ, образующихся изъ нея, или что при химическихъ реакціяхъ общій вѣсъ вещества не увеличивается и не уменьшается. Если бы Ломоносовъ сдѣлалъ только одну эту работу въ области химіи, то онъ не ошибся бы въ опредѣленіи своей ученой дѣятельности, сказавъ, что химія есть его главная профессія.

III.

Какъ-же стояла тогда физическая наука? Это было около сороковыхъ годовъ XVIII вѣка, и экспериментальная физика во всѣхъ своихъ частяхъ находилась тогда въ зачаточномъ состояніи. Достаточно напомнить вамъ, что термометры Фаренгейта, Реомюра и Цельзія были изобрѣтены въ 1720, 1730 и 1742 гг.; что понятіе объ удѣльной теплотѣ было дано Блэкомъ въ 1762 г., а ледяной калориметръ Лавуазье и Лапласа былъ созданъ въ 1783 г., много лѣтъ спустя

[1]) О. Ѳ. Базинеръ. Эпикуреизмъ и его отношенія къ новѣйшимъ теоріямъ естественныхъ и философскихъ наукъ. Одесса. 1889. стр. 18.

послѣ смерти Ломоносова. Изъ этого видно, что опытнаго матеріала для сужденія о природѣ теплоты было мало, а отсюда, естественно, научная мысль шла, блуждая между ученіемъ о флогистонѣ Сталя, какъ одною общею составною частью поддающихся дѣйствію огня тѣлъ, и ученіемъ Бэкона и Декарта, которое разсматривало теплоту, какъ движеніе, и искало критерія достовѣрнаго познанія въ математическомъ его строѣ.

Подобная-же неполнота и разладъ царили въ ученіи о свѣтѣ. Господствовала тогда теорія Ньютона истеченія свѣта. Какъ велико было ея значеніе, видно изъ того, что она еще въ концѣ XVIII и въ началѣ XIX вѣковъ считала въ своихъ рядахъ такихъ защитниковъ, какъ Лапласъ, Малюсъ, Брюстеръ, Біо. Но волнообразная теорія свѣта уже привлекала многихъ ученыхъ своими простыми механическими началами, изящно развитыми Мальбраншемъ, Гримальди и Гюйгенсомъ. Мы знаемъ, что позже, благодаря работамъ Юнга (1773 г.), Эйлера, Френеля, Коши и др., она въ концѣ концовъ блистательно одержала верхъ надъ теоріей истеченія Ньютона.

Картина успѣховъ ученія объ электричествѣ того времени не лучше. Напомню вамъ, что хотя начальные опыты Жильберта надъ притяженіемъ легкихъ тѣлъ различными наэлектризованными тѣлами относятся къ началу XVI столѣтія, но опыты надъ проводимостью и непроводимостью электричества были сдѣланы Греемъ лишь въ 1729 г.; что электростатическая индукція была открыта Кантономъ въ 1738 г., что лейденская банка и конденсаторъ были изслѣдованы Кунеусомъ въ 1746 г. и Ф. Клейстомъ въ 1747 г., что сопротивленіе проводниковъ и изоляторовъ было изучено Вильке въ 1757 г., и что законъ Кулона былъ обнародованъ уже послѣ смерти Ломоносова въ 1785 г.

Соотвѣтственно этому теоретическія представленія о природѣ электричества также были слабо развиты. Унитарная теорія Франклина, т. е. теорія одной электрической жидкости, частицы которой отталкиваются другъ отъ друга, но притягиваютъ частицы матеріи, была дана въ 1747 г., а теорія двухъ особыхъ электрическихъ жидкостей Симмера, положительной и отрицательной, притягивающей разноимен-

ную и отталкивающей одноименную, была высказана въ 1759 г.

Ломоносовъ учился и работалъ какъ разъ въ такое время, когда рѣшительная побѣда и рѣшительное пораженіе не связывались еще ни съ одною изъ этихъ теорій. И тѣмъ не менѣе мы съ удовлетвореніемъ замѣчаемъ, что онъ и въ ученіи о теплотѣ, и въ ученіи о свѣтѣ сталъ въ ряды борцовъ за наиболѣе вѣроятную гипотезу и считалъ теплоту вращательнымъ движеніемъ, а свѣтъ—колебательнымъ процессомъ эфира.

IV.

Позвольте мнѣ теперь познакомить васъ съ наиболѣе характерными его мыслями и привести ихъ по возможности въ подлинникѣ, ссылаясь на трудъ проф. Б. Н. Меншуткина [1]). Тогда вы сами будете судить о томъ, что такое Ломоносовъ, какъ первый русскій физикъ.

Атомистическое строеніе тѣлъ. Какъ естествоиспытатель, Ломоносовъ принадлежалъ къ числу тѣхъ ученыхъ, которые вѣрили въ справедливость атомистической теоріи строенія тѣлъ. Какъ извѣстно, творцомъ ее считаютъ Левкипа и въ особенности знаменитаго его ученика Демокрита, жившаго за четыре вѣка до Р. Х. Основныя положенія этой теоріи можно резюмировать слѣдующимъ образомъ: 1) Изъ ничего ничто произойти не можетъ; ничто существующее не можетъ быть уничтожено, и всякое измѣненіе состоитъ лишь въ соединеніи и раздѣленіи. 2) Ничто не случайно; на все есть причина и необходимость. 3) Кромѣ атомовъ, т. е. малыхъ, уже недѣлимыхъ частей матеріи, и пустоты, все остальное есть только сужденіе, а не существованіе. 4) Атомы, безконечные по числу и по формѣ, своимъ движеніемъ, столкновеніемъ и возникающимъ отъ того кру-

---

[1]) Проф. Б. Н. Меншуткинъ. М. В. Ломоносовъ какъ физико-химикъ. Къ исторіи химіи въ Россіи Ж. Р. Ф. Х. Общества. Т. XXXVI. 1904. стр. 77—304.

См. также труды Ломоносова въ области естественно-историческихъ наукъ. Извлеченія и объяснительныя статьи Б. Н. Меншуткина, Н. А. Іоссы, Ю. М. Шохаевскаго, В. И. Вернадскаго. Изданіе Императ. Академіи Наукъ. Спб. 1911 г.

говращеніемъ образуютъ видимый міръ. 5) Различіе предметовъ зависитъ только отъ различія числа, формы и порядка атомовъ, изъ которыхъ они образованы, но не отъ качественнаго различія атомовъ, дѣйствующихъ другъ на друга только давленіемъ и ударами. 6) Духъ, какъ и огонь, состоитъ изъ мелкихъ, круглыхъ, гладкихъ, наиболѣе легко подвижныхъ и легко всюду проникающихъ атомовъ, движеніе которыхъ составляетъ явленіе жизни [1]).

Атомистическое ученіе имѣло своихъ послѣдователей не только въ глубокой древности, въ школѣ Эпикура, но и гораздо позже; въ числѣ ихъ можно назвать: Гассенди, Декарта, Ньютона, Бургава, Лесажа и др. Поэтому оно давно получило права гражданства въ разныхъ частяхъ физики.

Въ виду, однако, того обстоятельства, что еще эпикурейцы признавали ученіе Демокрита, но придавали ему не метафизическій характеръ, а физическій, уже въ древности атомистическое ученіе совпало съ явнымъ матеріализмомъ. И вотъ для примиренія матеріалистическаго и идеалистическаго міровоззрѣнія Лейбницъ сдѣлалъ попытку одухотворить атомы и представить ихъ живыми существами, или монадами [2]).

Если къ этому прибавить еще, что Вольфъ самъ былъ сторонникомъ атомистической теоріи и отличался своими удачными объясненіями физическихъ явленій природы, основанными на механическихъ началахъ, то какъ будто для Ломоносова въ этой области все уже было подготовлено. Однако, это не такъ. Ломоносовъ не все принималъ на вѣру; онъ рѣзко отбросилъ таинственныя субтильныя матеріи (огонь, теплота, свѣтъ, тяжесть, электричество и т. д.) и ввелъ свои опредѣленія и дополненія.

Онъ говоритъ, что физически тѣла раздѣляются на мельчайшія невидимыя части, и недѣлящіяся дальше частички называетъ физическими монадами и надѣляетъ ихъ способностью къ вращательному движенію около своего центра, а также къ поступательному и колебательному. Онъ считаетъ далѣе, что фигура физическихъ монадъ неизмѣнна,

---

[1]) Д. И. Менделѣевъ. Основы химіи. Спб. 1895. Изд. 6-е. стр. 155.

[2]) Энциклопедическій Словарь Брокгауза и Ефрона. 1895. Т. II., стр. 435.

ибо онѣ не способны дѣлиться, и что физическія монады суть твердыя корпускулы, такъ какъ въ жидкомъ состояніи онѣ легко подвергались бы измѣненіямъ формы. Подъ корпускулою онъ разумѣетъ собраніе элементовъ въ одну незначительную массу, а элементомъ называетъ часть тѣла, не состоящую изъ какихъ либо другихъ меньшихъ тѣлъ, отличныхъ отъ нея. Корпускулы однородны, если состоятъ изъ одинаковаго числа однихъ и тѣхъ-же элементовъ, соединенныхъ одинаковымъ образомъ; корпускулы разнородны, если элементы ихъ различны и соединены различнымъ образомъ или въ различномъ числѣ; отъ этого зависитъ все безконечное разнообразіе тѣлъ.

V.

Интересныя поясненія къ этому мы встрѣчаемъ въ „Попыткѣ теоріи упругой силы воздуха“ [1]), данной Ломоносовымъ въ 1747 г. Здѣсь онъ рисуетъ болѣе детальную картину внутренняго строенія вещества и говоритъ, что частички воздуха, производящія упругую силу, не имѣютъ сложнаго физическаго или организованнаго строенія и не подвержены никакому измѣненію, такъ что ихъ слѣдовало бы назвать атомами. Что-же касается фигуры этихъ атомовъ, то надо думать, что она очень близка къ сферической, но имѣетъ шероховатости, очень тонкія и очень крѣпкія, подобно тому, какъ земля, покрытая горами и шероховатостями. Упругость воздуха не зависитъ отъ какого-нибудь флуида, но обусловлена какимъ-то непосредственнымъ взаимнымъ дѣйствіемъ атомовъ. Между атомами есть промежутки, и они вообще не соприкасаются. Въ любой моментъ не всѣ атомы находятся въ одинаковомъ состояніи, и это состояніе продолжается лишь очень короткое время, въ теченіе котораго атомы могутъ сталкиваться и не возвращаться на старое мѣсто. Когда одни изъ нихъ находятся въ соприкосновеніи, то другіе отталкиваются другъ отъ друга, налетаютъ на болѣе близкіе, снова отпрыгиваютъ,—однимъ словомъ, постоянно подталкиваемые другъ другомъ атомы стремятся разсыпаться во всѣ стороны отъ частыхъ и взаимныхъ столкновеній.

[1]) Меншуткинъ, р. 128.

Отдѣльные атомы воздуха имѣютъ вѣсъ, поэтому они падаютъ подъ дѣйствіемъ силы тяжести. Но при огромномъ числѣ атомовъ невозможно, чтобы каждый упалъ на верхнюю точку другого, а потому отталкиваніе должно совершаться и по наклоннымъ линіямъ, такъ что упругость воздуха проявляется во всѣ стороны. Это дѣйствіе атомовъ показываютъ волчки, которые мальчики пускаютъ на льду. Два вертящіеся волчка при столкновеніи отскакиваютъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ они шероховатѣе, до 3 или 4 разъ, пока не перестанутъ вертѣться.

Разсуждая далѣе на эту тему, Ломоносовъ приходитъ къ заключенію, что воздухъ рѣдѣетъ съ увеличеніемъ его разстоянія отъ земли, но что этотъ процессъ не можетъ идти до безконечности, такъ какъ земная атмосфера имѣетъ свой верхній предѣлъ тамъ, гдѣ сила тяжести превосходитъ силу, пріобрѣтенную атомами отъ взаимнаго столкновенія.

Глубоко интересуясь зависимостью между упругостью воздуха и его плотностью, Ломоносовъ производилъ опыты надъ замораживаніемъ воды въ стеклянныхъ шарахъ и желѣзной бомбѣ и пришелъ къ тому заключенію, что при большихъ давленіяхъ на воздухъ его плотности не пропорціональны упругостямъ. Другими словами, въ согласіи съ Мушенброкомъ, онъ установилъ, что законъ Маріотта при большихъ давленіяхъ не вѣренъ. Однако, онъ не удовлетворился такимъ голымъ фактомъ, но немедленно на основаніи своей кинетической теоріи движенія воздушныхъ частицъ далъ ему объясненіе, въ которомъ онъ учелъ размѣръ самихъ частицъ, а именно, когда плотность газа въ данномъ объемѣ увеличивается, напр. вдвое, то вслѣдствіе протяженности частицъ воздуха объемъ, въ которомъ эти послѣднія могутъ летать, уменьшается больше, чѣмъ вдвое, а потому въ той-же мѣрѣ увеличивается число столкновеній частицъ воздуха и обусловливаемая ихъ ударами упругость воздуха.

Интересно здѣсь еще отмѣтить, что Ломоносова занималъ вопросъ о существованіи атмосферы на планетахъ. Наблюдая въ 1761 г. затменіе Солнца, онъ замѣтилъ, что при вступленіи Венеры на дискъ Солнца соотвѣтственный край Солнца потемнѣлъ, а при выходѣ Венеры на краю,

обращенномъ къ Солнцу, образовалась выпуклость. Отсюда Ломоносовъ немедленно сдѣлалъ вѣрный выводъ, что Венера, подобно Землѣ, окружена „знатною воздушною атмосферою“.

VI.

Большое впечатлѣніе производятъ на современнаго читателя мысли Ломоносова о теплѣ. Не смотря на то, что ученіе Сталя о флогистонѣ было въ то время господствующимъ, Ломоносовъ не вѣрилъ въ него и его не раздѣлялъ; онъ шелъ даже дальше этого и просто высмѣивалъ послѣдователей флогистона, теплотворной матеріи, кочующей изъ одного тѣла въ другое.

Онъ объявляетъ себя сторонникомъ той теоріи, которая разсматриваетъ теплоту, какъ движеніе частицъ матеріи, а различныя степени теплоты тѣла—какъ различныя степени быстроты движенія этихъ частицъ. Различная скорость движенія матеріи, говоритъ онъ, даетъ любой градусъ теплоты, и какъ никакому движенію нельзя придать высшую степень скорости, такъ нельзя имѣть и высшую степень теплоты. Если есть хоть малѣйшее движеніе, то есть и теплота; величайшій холодъ въ тѣлѣ—это абсолютный покой матеріи.

Этимъ, однако, онъ не удовлетворяется и, желая выяснить характеръ этого движенія, разбираетъ этотъ вопросъ очень подробно. Въ Прибавленіи III-мъ къ своему переводу Вольфіанской физики онъ кратко резюмируетъ свои мысли слѣдующими словами:

„Движенія частицъ три возможны: первое проходное съ мѣста на мѣсто, второе коловратное около оси, третье зыблющееся частымъ въ нечувствительное время трясеніемъ. Проходное движеніе частицъ не можетъ быть причиною теплоты, за тѣмъ что самыя твердыя тѣла, не имѣя онаго, превеликій жаръ получаютъ, а жидкія въ великомъ такомъ движеніи студены остаются. Зыблющемуся движенію также причиною теплоты быть не возможно, для того что при трясеніи частицъ нельзя имъ стоять ни въ взаимномъ прикосновеніи, ни въ союзѣ, ниже имѣть малѣйшей твердости, а многочисленныя тѣла горячія весьма тверды. И такъ теплоты

тѣлъ причиною быть надлежитъ коловратному движенію частицъ собственныхъ, тѣла составляющихъ" [1]).

Кромѣ того онъ разъясняетъ еще, что матерія, составляющая тѣла, бываетъ двоякая: собственная, тѣла составляющая, или посторонняя, что содержится въ скважинахъ собственной. Теплота происходитъ отъ движенія собственной, либо посторонней, либо обѣихъ вкупѣ [2]).

Убѣдившись въ справедливости своей точки зрѣнія, Ломоносовъ желаетъ нанести рѣшительный ударъ теоріи Сталя и съ этою цѣлью берется за свои знаменитые опыты въ заплавленныхъ стеклянныхъ сосудахъ, чтобы изслѣдовать, пребываетъ ли вѣсъ металловъ отъ чистаго жару, и находитъ, что безъ пропусканія внѣшняго воздуха вѣсъ сожженнаго металла остается въ одинаковой мѣрѣ. Эти опыты, вопреки мнѣнію знаменитаго Роберта Бойля, показали совершенно опредѣленно, что объясненіе явленія обжиганія металловъ посредствомъ флогистона несостоятельно, и что образованіе окалины происходитъ отъ соединенія металла съ воздухомъ при накаливаніи.

Въ письмѣ къ Л. Эйлеру, 5 іюля 1748 г., Ломоносовъ еще больше развиваетъ свои мысли и говоритъ: „Но всѣ измѣненія, совершающіяся въ природѣ, происходятъ такимъ образомъ, что сколько къ чему прибавилось, столько-же отнимается отъ другого. Такъ, сколько къ одному тѣлу прибавится вещества, столько-же отнимется отъ другого, сколько часовъ употребляю на сонъ, столько-же отнимаю отъ бдѣнія и т. д. Этотъ законъ природы является настолько всеобщимъ, что простирается на правила движенія: тѣло, возбуждающее импульсомъ къ движенію другое, столько-же теряетъ своего движенія, сколько отдаетъ отъ себя этого движенія другому тѣлу".

Заканчивая свое размышленіе о причинѣ теплоты и холода, Ломоносовъ говоритъ:

„Итакъ, мы окончательно заключаемъ, что теплота тѣлъ состоитъ во внутреннемъ вращательномъ движеніи частичекъ матеріи тѣла, и не только говоримъ, что тончайшая матерія эфира, которой заполнено все пространство, свобод-

---

[1]) и [2]) Цитирую по подлиннику и въ транскрипціи Ломоносова.

ное отъ чувственныхъ тѣлъ, воспріимчиво къ движенію и теплу, но и утверждаемъ, что она, принявъ тепловое движеніе отъ Солнца, сообщаетъ его нашей Землѣ и другимъ міровымъ тѣламъ, и что эфиръ—та среда, черезъ которую тѣла, удаленныя другъ отъ друга, сообщаютъ взаимно теплоту безъ посредства чего-либо чувственнаго".

VII.

Ломоносовъ въ теченіе многихъ лѣтъ своей научной дѣятельности изучалъ теоретически и экспериментально свѣтовыя явленія и цвѣта тѣлъ. Какъ извѣстно, его любимое занятіе было мозаичное, и онъ самъ готовилъ цвѣтныя стекла и дѣлалъ попутно многочисленные опыты. Для мозаичнаго образа одной Богоматери онъ сдѣлалъ 2184 опыта!

Свои мысли о свѣтѣ онъ выразилъ въ академической рѣчи, озаглавленной: „Слово о происхожденіи свѣта, новую теорію о цвѣтахъ представляющую, іюля 1 дня 1756 г.". Въ этой рѣчи онъ высказывается противъ теоріи истеченія свѣта Ньютона и отстаиваетъ волнообразную теорію свѣта, принятую Декартомъ и Гюйгенсомъ. Въ числѣ аргументовъ противъ теоріи истеченія свѣта Ломоносовъ приводитъ слѣдующій: „Теорія истеченія опровергается еще и тѣмъ, что въ этомъ случаѣ огромное количество матеріи должно было бы съ Солнца перемѣститься на Землю: возьмемъ, напр., черную песчинку. Въ нее должно перемѣститься количество матеріи, представляемое конусомъ, основаніе котораго равно кругу Солнца: куда же помѣститься въ песчинкѣ такому количеству чужой матеріи? Если бывшую на свѣтѣ песчинку внести въ темное мѣсто, то она не свѣтитъ— куда же дѣлась вся свѣтовая матерія"? Разсмотрѣвъ вопросъ съ разныхъ сторонъ, онъ заключаетъ, что „лучи не могутъ простираться текущимъ движеніемъ Ефира". Также отрицательно онъ относится къ гипотезѣ вращательнаго (коловротняго) движенія эфира, какъ причинѣ свѣта, и раздѣляетъ лишь взгляды, лежащіе въ основаніи волнообразной теоріи свѣта (зыблющееся движеніе эфира).

Далѣе онъ развиваетъ очень любопытную теорію цвѣтовъ. Въ основаніе этой теоріи онъ кладетъ начало совмѣщенія частицъ, зависящее отъ сходства и несходства поверх-

ностей частицъ одного и featuresразнаго родовъ первоначальныхъ матерій, тѣла составляющихъ. „Представимъ себѣ, говоритъ Ломоносовъ, пространство всемірнаго строенія состоящимъ изъ нечувствительныхъ шарички́въ разной величины, поверхности которыхъ наполнены частыми и мелкими неровностями. Сцѣпляющіеся согласно другъ съ другомъ я называю с о в м ѣ с т н ы м и, несогласно — н е с о в м ѣ с т н ы м и"... „Все несказанное множество Ефирныхъ частицъ раздѣляю на три рода разной величины, всѣ сферическія: 1) самыя большія въ безпрерывномъ взаимномъ соприкосновеніи въ квадратномъ положеніи; тогда между шарами останется почти столько же порозжняго мѣста, сколько сами занимаютъ. Въ промежуткахъ 2) частицы втораго рода, мельче, квадратнымъ положеніемъ занимаютъ половину мѣста оныхъ промежутковъ, количествомъ матеріи они въ половину противъ большихъ. Въ промежуткахъ вторыхъ 3) еще мельче частицы, также расположены. Геометрически по количеству матеріи отношеніе частицъ третьяго, втораго и перваго рода будетъ 1 : 2 : 4. Частицы каждаго рода съ частицами прочихъ родовъ н е с о в м ѣ с т н ы: когда движется частица перваго рода, то приводитъ въ движеніе только частицы перваго-же рода, но не второго и третьяго".

„Я примѣтилъ и опытами утвердился, что Ефирныя частицы перваго рода совмѣщаются съ соляною матеріею, второго рода—съ ртутью, третьяго—съ сѣрною или горючею, а съ чистою водою, землею и воздухомъ совмѣщеніе всѣхъ тупо, слабо и несовершенно. Наконецъ, нахожу, что отъ перваго рода Ефира происходитъ цвѣтъ красной, отъ второго желтой, отъ третьяго голубой, а протчіе цвѣта рождаются отъ смѣшенія первыхъ".

Отсюда мы видимъ, что Ломоносовъ въ теоріи цвѣтовъ держался взгляда Маріотта, согласно которому основныхъ цвѣтовъ три, а не семь, какъ принималось другими. Бѣлый цвѣтъ онъ объяснялъ движеніемъ частицъ всѣхъ трехъ родовъ. Изъ разбираемыхъ примѣровъ еще видно и то, что онъ имѣлъ совершенно вѣрное понятіе о дополнительныхъ цвѣтахъ.

Въ заключеніе своего интереснаго слова о происхожденіи свѣта, неполноту изложенія котораго чувствовалъ и самъ

Ломоносовъ, онъ прибавляетъ: „хотѣлъ бы показать для утвержденія этой системы всѣ опыты, учиненные къ мозаичному искусству; хотѣлъ бы изъяснить все, что о цвѣтахъ черезъ 15 лѣтъ думалъ. Но сіе требуетъ во первыхъ долгаго времени; второе, къ ясному всего истолкованію необходимо нужно предложить всю мою систему физической химіи, которую совершить и сообщить ученому свѣту препятствуетъ мнѣ любовь къ Россійскому слову, къ прославленію Россійскихъ героевъ и къ достовѣрному изысканію дѣяній нашего отечества. Поэтому предоставляю обождать, пока не дамъ, если Богъ совершить судитъ, всей системы".

VIII.

Въ области электричества и магнитизма, при скудости свѣдѣній тогдашняго времени и слабости теоретической разработки этого ученія, вниманіе Ломоносова естественно устремилось на болѣе крупные вопросы атмосфернаго электричества и сѣверныхъ сіяній, знакомыхъ ему еще изъ жизни его въ Архангельскѣ.

Какъ и въ другихъ своихъ работахъ, Ломоносовъ не могъ быть только наблюдателемъ и описателемъ всего видѣннаго; приступая къ изученію новаго вопроса, онъ тотчасъ строилъ его теорію. Такъ, относительно происхожденія атмосфернаго электричества онъ придумалъ очень интересную теорію погруженія верхней, холодной атмосферы въ нижнюю, болѣе теплую, вслѣдствіе чего слои воздуха и паровъ наэлектризовываются отъ взаимнаго тренія. При этомъ необходимо отмѣтить, что Ломоносовъ считаетъ весьма важнымъ обстоятельствомъ для образованія грозы перемѣщеніе слоевъ воздуха по вертикальному направленію, а не по горизонтальному, и прибавляетъ, что вѣтры не бываютъ началомъ и основаніемъ грома и молніи.

Въ 1752 и 1753 гг. подъ вліяніемъ извѣстій объ опытахъ Франклина надъ атмосфернымъ электричествомъ, Ломоносовъ совмѣстно съ проф. Рихманомъ также наладилъ аналогичные опыты въ Петербургѣ, которые окончились чудеснымъ спасеніемъ самого Ломоносова и неожиданною смертью проф. Рихмана, черезъ котораго случайно прошелъ разрядъ во время опыта 26 іюля 1753 г. Дѣло было такъ.

„Въ первомъ часу дня поднялась съ сѣвера большая грозовая туча съ сильнымъ громомъ, но безъ дождя. Какъ Рихманъ, такъ и Ломоносовъ производили наблюденія, каждый у себя дома, надъ указателемъ громовой машины. Эта машина, придуманная Рихманомъ, состояла изъ высокаго шеста съ желѣзной стрѣлой; отъ стрѣлы была проведена проволока, подвѣшенная на шелковинкахъ, въ комнату; къ концу проволоки подвѣшивалась желѣзная палка и нить, которая поднималась, когда въ проволокѣ было электричество: такимъ образомъ судили о количествѣ электричества въ воздухѣ“ [1]).

„Сперва, пишетъ Ломоносовъ, не было электрической силы, но черезъ нѣкоторое время она появилась и изъ проволоки стали выскакивать искры при приближеніи къ ней проводящихъ предметовъ. Внезапно громъ чрезвычайно грянулъ въ то самое время, какъ я руку держалъ у желѣза и искры трещали... Всѣ отъ меня прочь бѣжали, и жена просила, чтобы я прочь шелъ“. Этимъ ударомъ былъ убитъ Рихманъ; это былъ громъ при ясномъ небѣ. Какъ показываетъ историческая справка, Ломоносовъ шелъ въ этихъ изслѣдованіяхъ совершенно самостоятельно; свою теорію о происхожденіи атмосфернаго электричества онъ уже высказалъ 24 мая 1751 г., а письма Франклина онъ впервые прочиталъ послѣ того, какъ его академическая рѣчь подъ заглавіемъ: „Слово о явленіяхъ воздушныхъ отъ Електрической силы происходящихъ“ была уже готова (26 ноября 1753 г.).

О сѣверныхъ сіяніяхъ Ломоносовъ говоритъ, какъ о явленіяхъ электрическаго характера, и сравниваетъ ихъ съ разрядами въ сосудахъ, лишенныхъ воздуха. По его наблюденіямъ они появляются обыкновенно послѣ теплой погоды, при погруженіи холодной атмосферы въ теплую, вслѣдствіе слабаго тренія паровъ выше средней атмосферы. Чаще сіянія бываютъ въ началѣ осени и въ концѣ лѣта, обильнаго грозами. Иногда, говоритъ онъ, приходилось ему видѣть одновременно сѣверное сіяніе и зарницу. Сіяніе бываетъ преимущественно на сѣверѣ, такъ какъ ближе къ полюсамъ легче происходитъ погруженіе верхней атмосферы; потому-же оно происходитъ вечеромъ при закатѣ солнца и рѣдко всю

---

[1]) Б. Н. Меншуткинъ, Loc. cit. стр. 222.

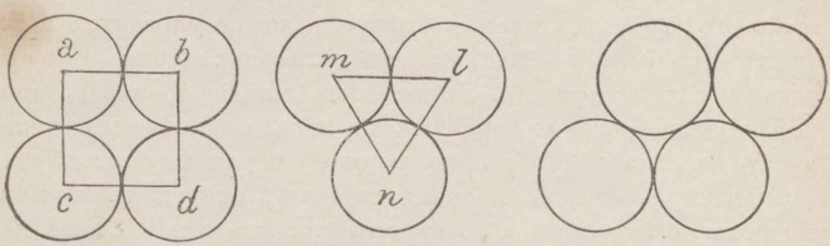
ночь. Онъ особенно заинтересовался большимъ сѣвернымъ сіяніемъ, бывшимъ 16 октября 1753 г. въ Петербургѣ, и даже сдѣлалъ нѣсколько измѣреній, причемъ нашелъ, что оно простиралось въ вышину на 20^0, а въ ширину на 136^0, и что вышина верхняго края дуги была около 420 верстъ.

Какъ и въ другихъ отдѣлахъ физики Ломоносовъ всегда доходилъ до основаній, такъ и въ электричествѣ онъ искалъ первопричину и объяснялъ ее слѣдующимъ образомъ. „Всѣ электрическія явленія, притяженіе, искры и т. п. состоятъ въ движеніи: движеніе же не можетъ возбуждаться въ тѣлѣ безъ другого движенія. Поэтому должна быть нечувствительная матерія внѣ электризованнаго тѣла, которая и производитъ эти дѣйствія, измѣнивъ его силу“. „Такъ какъ электрическія явленія происходятъ въ пространствѣ, лишенномъ воздуха, то зависятъ отъ эфира, а потому, вѣроятно, нечувствительная матерія и есть эфиръ“. „Очевидно, что нужно поэтому изслѣдовать природу эфира, и если онъ окажется объясняющимъ электрическія явленія, то будетъ вполнѣ вѣроятно, что они происходятъ отъ движенія эфира. Если потомъ не найдется какая либо другая матерія, то вѣроятнѣйшей причиной электричества будетъ движеніе эфира“.

По многимъ отрывкамъ видно, что его прозорливый умъ усматривалъ связь между явленіями свѣтовыми и электрическими, и въ одномъ мѣстѣ онъ говоритъ: „Надо поставить опытъ, будетъ-ли лучъ преломляться иначе въ наэлектризованной водѣ или наэлектризованномъ стеклѣ“.

Намъ остается сказать еще нѣсколько словъ объ эфирѣ, о которомъ Ломоносовъ говоритъ во многихъ мѣстахъ и которому, очевидно, придаетъ настолько большое значеніе, что даже посвящаетъ ему отдѣльную главу въ своей теоріи электричества. Его основныя положенія можно резюмировать кратко слѣдующимъ образомъ: эфиръ служитъ для передачи свѣта и тепла; онъ есть тончайшее тѣло, способное ко всякаго рода движеніямъ; его частицы могутъ двигаться, вращаться и колебаться. Теплота распространяется по эфиру вращательнымъ движеніемъ его частичекъ, а свѣтъ—колебательнымъ. Частицы эфира всегда находятся въ соприкосновеніи со всѣми сосѣдними; онѣ имѣютъ сферическую форму или близкую къ ней; поверхность ихъ шереховата. Эфиръ

въ тѣлахъ не сцѣпленныхъ находится въ положенiи квадратномъ или свободномъ ромбическомъ, не тѣсномъ (фиг. 1). Эфиръ есть тѣло жидкое. Сила электрическая несомнѣнно



Фиг. 1.

состоитъ въ движенiи эфира. Слово Αἰθήρ Ломоносовъ производилъ отъ глагола αἰθῶ и переводилъ его по латыни uro, fulgeo, т. е. сжигаю, сверкаю.

IX.

Вотъ, Милостивыя Государыни и Милостивые Государи, тѣ дѣянiя, которыя совершилъ М. В. Ломоносовъ, какъ первый русскiй физикъ. Они не малыя, какъ вы видѣли, и могли-бы покрыть неувядаемою славою имя Ломоносова, если бы онъ былъ и оставался только физикомъ. Сколько свѣтлыхъ идей родилось въ его необъятномъ умѣ! Пробѣгая творенiя Ломоносова, невольно удивляешься тому, что онъ оперировалъ съ очень скромными экспериментальными средствами и достигалъ поразительныхъ результатовъ. Изъ обзора его работъ и многочисленныхъ замѣчанiй къ нимъ видно, что онъ былъ достойный ученикъ великой школы экспериментальнаго изслѣдованiя явленiй природы, той школы, которую призвали къ жизни Галилей, Декартъ, Ньютонъ, Гюйгенсъ, и которая замѣнила старую школу философскаго умозрѣнiя. Ломоносовъ любитъ и почитаетъ опытъ, онъ усердно упражняется въ достовѣрномъ искусствѣ въ скромной обстановкѣ своего времени, онъ охотно разбираетъ и изучаетъ чужiе опыты и въ порывѣ ясновидѣнiя намѣчаетъ новые, которые слѣдовало бы для пользы науки сдѣлать въ буду-

щемъ. И все же читателя поражаетъ не эта сторона его творчества. Невольное удивленіе вызываетъ глубина и послѣдовательность его мышленія, способность его ума къ широкимъ обобщеніямъ и правильнымъ выводамъ, опираясь лишь на небольшое число основныхъ положеній. Опытъ направлялъ его мыслительный аппаратъ, но не управлялъ имъ; опытъ ему былъ необходимъ, какъ исходная точка для его логическихъ построеній. Ломоносовъ былъ не только выдающійся ученый своего времени, но и геніальный мыслитель; и онъ не только стоялъ въ ряду съ первоклассными учеными своего вѣка, но многихъ изъ нихъ опередилъ на многіе годы, ставъ провозвѣстникомъ новыхъ идей. Здѣсь достаточно будетъ указать, что законъ сохраненія вещества онъ формулировалъ въ 1756 г., на 17 лѣтъ раньше Лавуазье (1773 г.); что уже въ 1748 г. онъ былъ убѣжденъ въ справедливости и всеобщности закона сохраненія энергіи, высказанномъ Юліусомъ Робертомъ Майеромъ только въ 1842 г.; что онъ блестяще осмѣялъ и опровергъ ученіе Сталя о флогистонѣ и матеріальности теплоты; что онъ такъ удачно остановилъ свой выборъ на волнообразной теоріи свѣта, а не на теоріи истеченія Ньютона; что онъ былъ убѣжденный сторонникъ атомистической теоріи строенія тѣлъ и кинетической теоріи газовъ.

Среди своей разнообразной, кипучей дѣятельности Ломоносовъ пытался быть учителемъ и воспитывалъ себѣ пріемниковъ. Къ сожалѣнію, по условіямъ времени создать школу ему не удалось, и скоро послѣ его смерти, случившейся 4 апрѣля 1765 г., какъ физикъ, онъ былъ забытъ. Удивительно, однако, что онъ былъ забытъ не только въ Россіи, гдѣ онъ въ то время не могъ найти достойной себѣ оцѣнки, но и за границею, куда нѣкоторыя его работы, написанныя по латыни, все-же попадали. Очевидно, Ломоносовъ шелъ слишкомъ впереди своего вѣка и потому и дома, и за границею остался непонятымъ и неоцѣненнымъ.

Мы, русскіе физики, должны быть ему особенно признательными. Отъ него мы получили первыя основанія въ формѣ „Вольфіановской экспериментальной физики", выдержавшей два изданія въ русскомъ переводѣ; отъ него-же мы

заимствовали научную терминологію [1]) и прекрасные образцы научнаго изложенія въ духѣ русскаго языка.

Великая ему честь и хвала за всѣ его труды и подвиги, которые онъ дѣлалъ не для своей личной славы, а для славы Россіи, которую онъ любилъ превыше всего. Не его вина, что его блестящія работы не нашли себѣ въ то время справедливой и достойной оцѣнки, а потомъ и совсѣмъ были забыты. Но вотъ прошли многіе, многіе годы, и свѣтлый образъ русскаго генія всталъ предъ нашими очами во всей красѣ. Воздадимъ же ему хотя бы теперь дань нашей признательности: узнаемъ и изучимъ его творенья и твердою рукою начертимъ въ исторіи русской науки имя Михаила Васильевича Ломоносова, какъ перваго и славнаго физика.

Кіевъ.

---

[1]) Напримѣръ: воздушный насосъ, волшебный фонарь, магнитное склоненіе, магнитное наклоненіе, магнитный полюсъ, магнитная стрѣлка, зрительная труба; барометръ, бароскопъ, гигрометръ, гигроскопъ, термометръ, манометръ, микроскопъ, телескопъ и т. д.

Звукопроводность.

Н. А. Гезехуса.

Значеніе звукопроводности въ акустикѣ должно быть такое-же, какъ теплопроводности и электропроводности въ ученіяхъ о теплотѣ и электричествѣ. Между тѣмъ по проводимости звука различными тѣлами до послѣдняго времени сравнительно мало произведено изслѣдованій, вслѣдствіе чего по вопросу этому мало сообщается вообще свѣдѣній въ учебникахъ. Еще Мунке въ 1838 г. писалъ, что звукопроводность твердыхъ тѣлъ не изслѣдовалась сколько нибудь обстоятельнымъ образомъ. Но знаменитый Хладни уже въ 1809 г. упоминаетъ о трудахъ по этому вопросу Іерисена, Винклера, Кирхнера, Бёргаве, Перолля и др. Самъ Хладни при этомъ указываетъ, какъ на лучшіе проводники звука, на стеклянные и еловые стержни. Вообще же всякіе стержни даютъ возможность хорошо слышать звуки, если однимъ краемъ они касаются звучащаго тѣла, а другимъ приставлены къ зубамъ или къ головѣ слушателя. Болѣе систематическіе опыты по этому предмету, по словамъ Хладни, принадлежатъ Перолю (Perolle. 1800). Способъ изслѣдованія его состоялъ въ томъ, что цилиндрическій стержень въ 1 футъ длиною и 1 дюймъ толщиною прилагался однимъ концомъ къ уху, въ то время какъ къ другому концу его приставлялись карманные часы. Изъ такихъ опытовъ оказалось, что хорошо проводятъ звукъ, во первыхъ, различные сорта дерева (ель, букъ, дубъ, вишня, каштанъ), а также, во вторыхъ, металлы (лучше желѣзо, затѣмъ мѣдь, серебро, золото, олово, хуже всѣхъ свинецъ) и, въ третьихъ, но уже гораздо слабѣе, натянутые шнурки и нити. Изъ другихъ своихъ опытовъ Перолль убѣдился кромѣ того въ хорошей звуковой проводимости цинка, сюрьмы, стекла, гипса и мра-

мора. Упомянемъ еще, что въ 1858 г. Кноблаухъ, доказавъ, что теплопроводность дерева вдоль волоконъ лучше, нежели поперекъ, замѣтилъ также, что и передаваемый деревомъ звукъ въ первомъ направленіи яснѣе, чѣмъ во второмъ. Вотъ и все главнѣйшее, что удалось узнать объ интересующемъ насъ вопросѣ въ старой литературѣ.

Только лѣтъ 25 тому назадъ вопросъ этотъ сталъ разрабатываться въ наукѣ болѣе обстоятельнымъ образомъ, раньше же, какъ мы видѣли, о немъ имѣлись только отрывочныя и скудныя данныя. Все, что теперь извѣстно существеннаго по вопросу о звукопроводности, здѣсь будетъ изложено въ возможно краткой и простой формѣ.

Звуковыя волны могутъ проходить не только черезъ воздухъ или другіе газы, но также и въ жидкихъ, и твердыхъ тѣлахъ; для этого нужна только достаточная упругость тѣла, чтобы звуковыя колебанія могли передаваться отъ однихъ частичекъ другимъ, сосѣднимъ. Можно поэтому различать хорошіе проводники звука отъ худыхъ, смотря по тому, мало или значительно ослабляется звукъ при своемъ прохожденіи черезъ то или другое тѣло.

Сперва займемся звукопроводностью газовъ. Для опытовъ можно взять или стеклянный шаръ съ краномъ и съ подвѣшеннымъ въ немъ колокольчикомъ, или же прямо воздушный насосъ, подъ колпакомъ котораго поставленъ на резиновыхъ трубкахъ заводной звонокъ съ часовымъ механизмомъ. При разрѣженіи воздуха съ уменьшеніемъ его плотности звукъ становится все слабѣе и слабѣе. Въ пустотѣ звукъ не можетъ совсѣмъ распространяться. Замѣнимъ воздухъ водородомъ, плотность котораго въ 14 разъ меньше. Опытъ показываетъ тогда, что при тѣхъ же условіяхъ, при томъ же атмосферномъ давленіи, звукъ значительно ослабѣетъ. Водородъ, слѣдовательно, плохой проводникъ звука сравнительно съ воздухомъ. Если опытъ произвести съ газомъ болѣе плотнымъ, нежели воздухъ, напр. съ углекислотой, то звукъ, напротивъ, немного усилится, показывая, что углекислый газъ проводитъ звукъ немного лучше, чѣмъ воздухъ. Такіе опыты производились и съ другими газами уже съ давнихъ поръ, еще съ XVIII ст., Пероллемъ и другими. Общее заключеніе, къ которому глав-

нымъ образомъ привели опыты, состоитъ въ томъ, что сила, съ которою звукъ передается различными газами, зависитъ исключительно отъ плотности ихъ. Чѣмъ большая масса каждой молекулы газа, и чѣмъ большему числу молекулъ передается колебательное движеніе, тѣмъ большее количество энергіи передается въ единицу времени, тѣмъ сильнѣй передаваемый звукъ и тѣмъ лучше, слѣдовательно, звукопроводность.

Опыты надъ звукопроводностью жидкостей, вообще лучше проводящихъ звукъ, чѣмъ газы, могутъ быть произведены очень просто при помощи камертона и соотвѣтствующаго ему резонаторнаго ящика. Стаканъ съ испытуемою жидкостью становится на резонаторный ящикъ. Чтобы большей поверхности жидкости можно было сообщить колебанія камертона, на ножку его одѣвается пробковый или деревянный кружокъ. Приведенный въ колебаніе камертонъ въ воздухѣ почти не слышенъ, но если погрузить надѣтый на него кружокъ въ жидкость, то звукъ становится значительно громче, и его слышно на большомъ разстояніи, что и доказываетъ лучшую звукопроводность жидкости сравнительно съ воздухомъ. Такимъ образомъ можно установить, что ртуть немного лучше проводитъ звукъ, чѣмъ вода, а вода лучшій проводникъ звука, нежели спиртъ. Для большей убѣдительности опыта, чтобы избѣжать сомнѣнія, что колебанія камертона распространяются не вдоль жидкаго столба, а по поверхности жидкости передаются стеклу и черезъ него уже резонаторному ящику, лучше жидкость помѣщать не въ стеклянный сосудъ, а въ широкую резиновую трубку, закрытую снизу деревяннымъ кружечкомъ; резина, какъ въ этомъ сейчасъ же можно убѣдиться, весьма плохой проводникъ звука.

Такимъ же образомъ, но еще съ меньшими приспособленіями, можно испытать звукопроводность твердыхъ тѣлъ. Что твердыя тѣла вообще хорошо проводятъ звукъ, извѣстно всякому. Всѣ знаютъ, что если приложить ухо къ землѣ, то можно лучше разслышать отдаленный шумъ, какъ напр. лошадиный топотъ или грохотъ телѣги, чѣмъ непосредственно черезъ воздухъ. Можно также очень просто убѣдиться въ хорошей звукопроводности дерева. Именно, если

приложить къ одному концу бревна карманные часы, а къ другому концу его приставить ухо, то можно явственно услышать тиканье часовъ. Такъ же легко убѣдиться, что натянутая нить, способна передавать звуковыя колебанія. Если къ серединѣ нити привязать, напр., металлическую ложку, а концы нити приложить къ ушамъ, то раскачавъ ложку такъ, чтобы она ударяла о край стола, мы будемъ слышать звукъ, подобный звуку колокола. Но для сравнительнаго изслѣдованія звукопроводности различныхъ твердыхъ тѣлъ удобнѣе всего воспользоваться, какъ и при изслѣдованіи жидкостей, камертономъ и резонаторнымъ ящикомъ.

На верхнюю дощечку ящика для этой цѣли ставятся, придерживаемые лѣвою рукой, нѣсколько испытуемыхъ стерженьковъ одинаковыхъ размѣровъ (величиною поменьше карандаша); для удобства держанія ихъ стерженьки эти скрѣплены между собою и уединены другъ отъ друга четырьмя мягкими, тонкими резиновыми трубками, обхватывающими ихъ въ двухъ мѣстахъ и связанными попарно нитками.

Прикоснувшись ножкой звучащаго камертона, поддерживаемаго правой рукой, къ тому или другому стерженьку, мы услышимъ болѣе или менѣе сильный звукъ, въ зависимости отъ лучшей или худшей ихъ звукопроводности.

Расположимъ стерженьки въ такомъ, напримѣръ, порядкѣ: резиновый, пробковый, свинцовый, деревянный, желѣзный и стеклянный, и будемъ приставлять къ нимъ камертонъ послѣдовательно въ томъ же порядкѣ; мы услышимъ тогда постепенное усиленіе звука. Окажется при этомъ, что резина почти совсѣмъ не проводитъ звука, пробка—плохо, свинецъ чуть-чуть лучше, а дерево, желѣзо и стекло—очень хорошо. Изъ металловъ лучшими проводниками звука оказываются сталь и алюминій, а худшимъ свинецъ. Такимъ же образомъ можно испытать сравнительную звукопроводность различныхъ сортовъ дерева.

Оказалось, что сандальное и черное дерево одинаково хорошо проводятъ звукъ, а яблоня и въ особенности корельская береза—замѣтно хуже.

По отношенію къ дереву, какъ и кристалламъ, надо отмѣчать направленіе распространенія звуковыхъ колебаній. Въ деревѣ очень рѣзко обнаруживается различіе звукопро-

водности вдоль и поперекъ волоконъ. Такъ напр., если изъ тонкой еловой доски выпилить два столбика одинаковыхъ размѣровъ, одинъ вдоль волоконъ, а другой поперекъ, то опытъ покажетъ, что первый изъ нихъ гораздо лучше проводитъ звукъ, чѣмъ второй. Пришлось бы уменьшать длину второго столбика разъ въ пять по крайней мѣрѣ, чтобы онъ проводилъ звукъ на столько же хорошо, какъ и первый. Отсюда можно заключить, что звукопроводность ели въ направленіи волоконъ примѣрно въ пять разъ больше, чѣмъ въ направленіи поперечномъ.

Здѣсь надо обратить вниманіе на то, что и скорость распространенія звука въ деревѣ также зависитъ отъ направленія относительно волоконъ. Такъ напр., въ ели вдоль волоконъ, т. е. вдоль ствола, скорость звука равна 10.900 фут. или 3.323 м., перпендикулярно къ кольцамъ поперечнаго разрѣза скорость равна 1.406 м., а вдоль колецъ въ поперечномъ сѣченіи—794 м., слѣдовательно въ 4 раза меньше, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Въ соснѣ, еще лучше проводящей звукъ, чѣмъ ель, скорость звука вдоль волоконъ равна 4.640 м., по діаметру поперечнаго сѣченія 1.336 м., а вдоль колецъ 784 м.

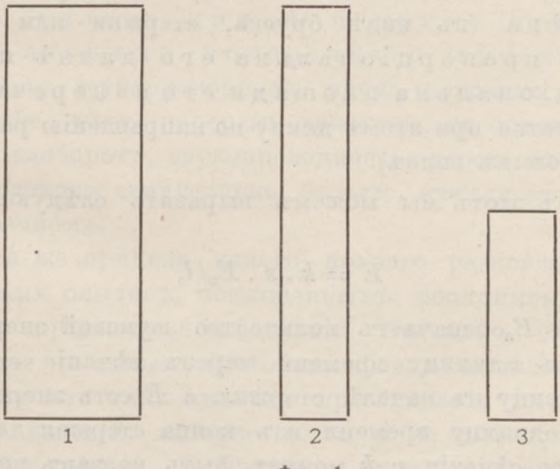
Такая прямая связь между звукопроводностью и скоростью распространенія звука наблюдается вообще во всѣхъ тѣлахъ. Лучшіе проводники звука вмѣстѣ съ тѣмъ и быстрѣе распространяютъ звукъ. Такъ, принимая скорость звука въ воздухѣ за 1, мы получимъ для алюминія скорость звука 15,4, для стали 15 и для стекла 15, тогда какъ для мѣди 11, а для свинца 4. Въ каучукѣ или резинѣ, принадлежащимъ къ числу самыхъ плохихъ проводниковъ звука, и скорость распространенія звуковыхъ волнъ очень мала, всего около 0,1.

Обратимся теперь къ вопросу о вліяніи размѣровъ тѣла на его звуковую проводимость. Мы уже упоминали, что звукопроводность ели въ поперечномъ направленіи относительно волоконъ или фибръ разъ въ пять меньше, чѣмъ вдоль волоконъ, о чемъ мы судили на основаніи того, что длину еловаго бруска, выпиленнаго поперекъ волоконъ, пришлось уменьшить почти въ пять разъ, чтобы онъ сталъ проводить звукъ одинаково хорошо съ брускомъ, выпиленнымъ вдоль волоконъ. Изъ опыта мы здѣсь могли убѣдиться, что чѣмъ

короче брусокъ, тѣмъ онъ лучше проводитъ звукъ. Мы приняли при этомъ, что звукопроводность обратно пропорціональна длинѣ бруска.

Такая же зависимость, какъ извѣстно, существуетъ между длиною и теплопроводностью, а также и электропроводностью.

Легко показать, что на звукопроводность вліяетъ также и толщина или площадь поперечнаго сѣченія бруска и притомъ такимъ же образомъ, какъ и по отношенію къ теплопроводности и электропроводности. Удобнѣе всего для такихъ опытовъ взять пробковыя пластины, изъ которыхъ легко можно вырѣзать нѣсколько столбиковъ различныхъ размѣровъ. Удобство, представляемое въ этомъ случаѣ пробкою, кромѣ легкости ея разрѣзанія, заключается еще и въ томъ, что она посредственный проводникъ звука, такъ что съ нею легче замѣтить усиленія и ослабленія звука, чѣмъ съ очень хорошимъ или очень худымъ проводникомъ. Опытъ можно начать съ двухъ пробковыхъ столбиковъ одинаковой высоты и толщины, но различной ширины, какъ 1 и 2 на фиг. 1-й. При испытаніи ихъ камертономъ на резонатор-



Фиг. 1.

номъ ящикѣ мы замѣтимъ, что болѣе широкій столбикъ передаетъ звукъ лучше. Если бы ширина столбика перваго (1) была въ два раза больше ширины второго столбика (2), то

мы могли бы сказать, что онъ проводитъ звукъ въ два раза лучше, чѣмъ второй столбикъ, потому что мы можемъ представить себѣ его какъ бы состоящимъ изъ двухъ одинаковыхъ тонкихъ столбиковъ, которые передаютъ ящику въ то же время въ два раза больше звуковой энергіи, нежели каждый изъ нихъ отдѣльно. И вообще, слѣдовательно, изъ такого опыта можно заключить, что звукопроводность прямо пропорціональна поперечному сѣченію бруска.

Для второго опыта возьмемъ третій столбикъ (3), по ширинѣ одинаковый съ столбикомъ (2), но въ два раза короче. Мы уже знаемъ, что звукопроводность его будетъ въ два раза больше, чѣмъ столбика (2), а такъ какъ и столбикъ (1) проводитъ звукъ въ два раза лучше, чѣмъ тотъ же столбикъ (2), то очевидно, что этотъ малый столбикъ (3) будетъ одинаково хорошо проводить звукъ, какъ и большой столбикъ (1). Это заключеніе опытъ дѣйствительно и оправдываетъ. При прикосновеніи камертона попеременно къ столбикамъ (1) и (3), поставленнымъ на резонаторный ящикъ, будутъ слышаться тоны одинаковой силы.

Итакъ, вообще можно сказать, что звукопроводность тѣла (въ видѣ бруска, стержня или столбика) обратно пропорціональна его длинѣ и прямо пропорціональна площади его поперечнаго сѣченія (считая при этомъ длину по направленію распространенія звуковыхъ волнъ).

Законъ этотъ мы можемъ выразить слѣдующею формулою:

$$E = k \,.\, s \,.\, E_0 / l,$$

въ которой E_0 означаетъ количество звуковой энергіи, проходящее въ единицу времени черезъ сѣченіе единицу и длину единицу въ началѣ стержня, а E есть энергія, выходящая въ единицу времени изъ конца стержня длиною l и поперечнаго сѣченія s; k можетъ быть названъ коэффиціентомъ звукопроводности, зависящимъ отъ вещества стержня.

На основаніи этого закона мы имѣемъ возможность сравнивать между собою звукопроводности различныхъ тѣлъ или даже измѣрять ихъ, выражая величины ихъ числами,

если звукопроводность одного какого либо тѣла опредѣленныхъ размѣровъ примемъ за единицу, напр. свинцоваго кубика величиною въ 1 куб. см.

На основаніи же прямой связи звукопроводности и скорости распространенія звуковыхъ колебаній описанные здѣсь очень простые опыты даютъ вмѣстѣ съ тѣмъ средство опредѣлять приблизительно сравнительныя величины и скорости звука въ различныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ.

Послѣ описанныхъ здѣсь опытовъ, произведенныхъ въ 1884 г., появилась въ 1885 г. довольно объемистая книга извѣстнаго физіолога Фирордта[1]), въ которой описываются между прочимъ разнообразные и многочисленные опыты ея автора надъ звукопроводностью твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Замѣчательно, и это требуетъ объясненій съ нашей стороны, что результаты тщательныхъ опытовъ Фирордта находятся въ прямомъ противорѣчіи съ выводами, полученными изъ только что описанныхъ опытовъ. Такъ Фирордтъ нашелъ, что звукопроводность тѣла обратно пропорціональна его массѣ и не зависитъ отъ поперечнаго его сѣченія, тогда какъ по предыдущимъ опытамъ, какъ мы видѣли, звукопроводность обратно пропоціональна длинѣ и прямо пропорціональна площади поперечнаго сѣченія тѣла. По Фирордту звукопроводность вдоль волоконъ дерева немного менѣе, чѣмъ поперекъ волоконъ; по описаннымъ же опытамъ, наоборотъ, звукопроводность дерева въ направленіи его волоконъ значительно больше, нежели въ направленіи поперечномъ.

Какая же причина такого полнаго разногласія между результатами опытовъ, посвященныхъ, повидимому, одному и тому же предмету изслѣдованія. Очевидно, она должна заключаться въ самыхъ способахъ обоихъ изслѣдованій, причемъ одинъ изъ нихъ вызвалъ преобладаніе того изъ совмѣстныхъ явленій, которое вовсе и не имѣлось въ виду экспериментаторомъ. У Фирордта колебанія испытуемому тѣлу сообщались ударомъ упавшаго шарика или молоточ-

---

[1]) K. Vierordt. Die Schall-und Tonstärke und das Schalleitungsvermögen der Körper. 1885.

комъ. Какъ при изслѣдованіи теплопроводности нуженъ постоянный источникъ теплоты (большой теплоемкости), такъ и при изученіи звукопроводности, очевидно, источникъ звука долженъ обладать большою звуковою емкостью или большимъ запасомъ звуковой энергіи. Это условіе въ моихъ опытахъ было соблюдено, а въ опытахъ Фирордта—нѣтъ.

Поэтому и результаты опытовъ Фирордта не могли относиться къ звукопроводности тѣлъ, а лишь къ ихъ звуковой емкости, которая для одного и того же тѣла должна быть пропорціональна его массѣ. Къ этому выводу какъ разъ опыты Фирордта, какъ мы видѣли, и привели. Съ этой точки зрѣнія—удѣльной звуковой емкости тѣлъ—опыты Фирордта и представляютъ научное значеніе. Остается еще только объяснить, отчего Фирордтъ получилъ изъ своихъ опытовъ неожиданный выводъ, что ослабленіе звука въ деревѣ немного больше въ продольномъ направленіи, а не въ поперечномъ. Это просто отъ того, что деревянный столбикъ съ продольными волокнами вообще чуть чуть тяжелѣе столбика такихъ же размѣровъ, но съ поперечными волокнами, а слѣдовательно, и звуковая емкость перваго столбика больше, нежели второго. Убѣдиться въ этомъ можно прежде всего простымъ взвѣшиваніемъ. Но и объяснить себѣ, почему это такъ, не трудно. Въ самомъ дѣлѣ, столбикъ съ продольными волокнами ограниченъ плотными слоями, такъ какъ мало плотные слои легче стираются; если изъ него составить, разрѣзавъ его, столбикъ съ поперечными волокнами, то въ этомъ послѣднемъ чередованіе плотныхъ и мало плотныхъ слоевъ не будетъ правильное, а въ нѣкоторыхъ мѣстахъ придутся рядомъ по два плотныхъ слоя, почему онъ и будетъ чуть чуть тяжелѣе простого столбика съ поперечными волокнами, гдѣ чередованіе правильное.

Итакъ, опыты Фирордта, не смотря на ихъ цѣль и названіе, къ звукопроводности не относятся.

Изъ моихъ же опытовъ надъ звукопроводностью тѣлъ вытекаютъ законы такіе же, какъ и для теплопроводности. А отсюда можно еще придти къ заключенію, что въ звукопроводящемъ тѣлѣ надо различать два рода движенія. Во первыхъ, такія характеристическія движенія, которыя зависятъ отъ формы тѣла; во вторыхъ, индиви-

дуальныя движенія молекулъ, не зависящія отъ формы. Только послѣднія аналогичны тепловому движенію молекулъ, и ими только можетъ быть объяснена непрерывность телефоническихъ дѣйствій и то совершенство, съ которымъ телефонъ воспроизводитъ всѣ оттѣнки голоса, какъ это было указано французскимъ ученымъ Меркадіе въ 1897 г.

Выведемъ теперь формулу для звукопроводности въ стержнѣ. Подъ силою звука будемъ подразумѣвать количество звуковой энергіи, проходящей въ данномъ мѣстѣ въ единицу времени черезъ единицу площади перпендикулярной къ направленію распространенія звука. Представимъ себѣ въ стержнѣ двѣ какія нибудь сосѣднія молекулы, расположенныя на разстояніи ε другъ отъ друга по направленію распространенія звука; пусть масса каждой изъ нихъ будетъ m, а наибольшія скорости колебанія u и u'. Тогда полныя энергіи ихъ будутъ $\frac{mu^2}{2}$ и $\frac{mu'^2}{2}$ (такъ какъ въ моментъ наибольшаго удаленія отъ положенія равновѣсія скорость равна нулю, и вся энергія колебанія равна соотвѣтствующей этому удаленію потенціальной энергіи, а при прохожденіи черезъ положеніе равновѣсія скорость наибольшая, и вся энергія, равная кинетической энергіи или живой силѣ, равна произведенію половины массы молекулы на квадратъ скорости).

При $u = u'$, очевидно, перехода энергіи отъ одной молекулы не было бы. Переходъ энергіи обусловливается разностью $\frac{m}{2}(u^2 - u'^2)$.

Этотъ излишекъ энергіи перейдетъ отъ первой молекулы ко второй и станетъ распространяться далѣе въ томъ же направленіи, тогда какъ убыль энергіи первой молекулы будетъ пополняться съ другой стороны. Въ единицу времени такой переходъ повторится ω/ε разъ, если ω есть скорость распространенія колебаній. Поэтому количество энергіи въ единицу времени отъ одной молекулы къ другой перейдетъ

$$\frac{\omega}{\varepsilon}\,\frac{m}{2}(u^2 - u'^2) = {}^1/_2 m\omega\Delta u;$$

(здѣсь черезъ Δu обозначена величина $(u^2 - u'^2) : \varepsilon$, т. е. избытокъ энергіи одной молекулы надъ энергіей другой молекулы на разстояніи единицы).

Если n число молекулъ, расположенныхъ въ единицѣ площади поперечнаго сѣченія, то черезъ единицу площади и въ единицу времени пройдетъ количество энергіи

$$u_1 = {}^1/_2\, m\omega n \Delta u, \text{ или черезъ площадь } s,\ u = {}^1/_2\, m\omega n s \Delta u.$$

Если длина стержня l, а скорости u_1 и u_2 соотвѣтствуютъ началу и концу стержня, причемъ пусть въ такомъ случаѣ $u_1^2 - u_2^2 = \Delta\theta$, то $\Delta u = \Delta\theta / l$. Обозначивъ еще ${}^1/_2\, mn\omega$ черезъ k, коэффиціентъ звукопроводности, мы окончательно получимъ для звукопроводности стержня слѣдующую формулу

$$u = ks\Delta\theta / l.$$

Эта формула, какъ мы уже знаемъ, вообще согласна съ результатами опытовъ.

На этомъ приходится и ограничить разсмотрѣніе вопроса о звукопроводности. Большія подробности можно найти въ статьяхъ Н. А. Гезехуса: 1) Звукопроводность тѣлъ. 2) Звукопроводность и звуковая емкость тѣлъ и 3) Теорія звукопроводности. (Журалъ Русскаго Физ. Хим. Общ. 1) 1885 г., 2) 1892 г. и 3) 1894 г.) и въ „Акустикѣ“ Н. П. Слугинова. Казань. 1894 г.

С.-Петербургъ.
Технологическій Институтъ.

Щелочный аккумуляторъ желѣзо-никкель.

М. А. Бутарика[1]).

За послѣдніе годы Эдисонъ изобрѣлъ новый электрическій аккумуляторъ, который затѣмъ подвергся многимъ усовершенствованіямъ; повидимому, техника имѣетъ основанія возлагать на него извѣстныя надежды. Цѣль настоящей статьи—дать представленіе о современномъ состояніи новаго вопроса, не вдаваясь въ черезчуръ спеціальныя подробности.

I. Свинцовый аккумуляторъ.

Чтобы вполнѣ понять дѣйствіе новаго аккумулятора и уяснить себѣ его преимущества, небезполезно вкратцѣ напомнить общія свойства свинцоваго аккумулятора, которымъ техника пользовалась до сихъ поръ почти исключительно.

Принципъ аккумуляторовъ можно найти въ слѣдующемъ старомъ опытѣ Грове.

Если въ теченіе нѣкотораго времени пропускать токъ черезъ вольтаметръ съ подкисленной водой и платиновыми электродами, затѣмъ прервать токъ и, наконецъ, соединить концы электродовъ черезъ посредство гальванометра, то возникаетъ новый токъ, имѣющій направленіе обратное первоначальному и идущій во внѣшнемъ проводѣ отъ кислорода къ водороду. Мало-по-малу объемъ газовъ, содержащихся въ пробиркахъ вольтаметра, уменьшается, и токъ прекращается въ тотъ моментъ, когда газы совершенно исчезаютъ.

Для того, чтобы примѣнить этотъ аппаратъ на практикѣ, нужно было найти металлъ, способный собрать на своей поверхности большое количество водорода и кислорода, и послѣ заряженія токомъ, при разряженіи, дать токъ до-

[1]) Revue Scientifique. 15 Mars. 1913. M. A. Boutaric.

статочной продолжительности. Послѣ многочисленныхъ опытовъ Планте такимъ металломъ оказался свинецъ.

Свинцовые аккумуляторы состоятъ изъ параллельныхъ свинцовыхъ пластинокъ, поставленныхъ очень близко однкъ другой и погруженныхъ въ воду, подкисленную сѣрной кислотой. Одна пластинка, на которой будетъ выдѣляться водородъ, покрыта слоемъ глета (сплавленная окись свинца, PbO); другая, гдѣ выдѣляется кислородъ,—сурикомъ (Pb_3O_4).

Когда пропускаютъ токъ для заряженія аккумулятора, сурикъ окисляется въ перекись, PbO_2, а глетъ возстановляется въ металлическій свинецъ. При разряженіи перекись возстановляется, а свинецъ снова окисляется.

Впрочемъ, эта теорія передаетъ истинный ходъ процесса лишь въ самыхъ общихъ чертахъ. Въ дѣйствительности явленіе гораздо сложнѣе. Въ то время, когда аккумуляторъ заряженъ, положительнымъ активнымъ веществомъ является перекись свинца, а отрицательнымъ—губчатый свинецъ.

При разрядѣ онъ работаетъ, какъ настоящій элементъ, и сѣрная кислота претерпѣваетъ электролизъ: водородъ выдѣляется на анодѣ, а радикалъ SO_4 направляется къ катоду.

Въ присутствіи активнаго вещества электродовъ происходятъ слѣдующія реакціи:

у анода:

$$PbO_2 + 2H + SO_4H_2 = PbSO_4 + 2H_2O;$$

у катода:

$$Pb + SO_4 = PbSO_4.$$

Совокупность обоихъ уравненій даетъ общее ур—іе разряда:

$$PbO_2 + 2SO_4H_2 + Pb = PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4.$$

Мы видимъ, что на обоихъ электродахъ происходитъ образованіе сѣрнокислаго свинца, и что активное вещество послѣднихъ, къ концу разряда, представляетъ собою—на анодѣ—смѣсь перекиси и сѣрнокислаго свинца, а на катодѣ—смѣсь губчатаго свинца съ сѣрнокислымъ. Въ то же время исчезаютъ двѣ молекулы сѣрной кислоты, и образуются двѣ молекулы воды, вслѣдствіе чего уменьшается концентрація сѣрной кислоты въ электролитѣ.

Въ теченіе заряженія аккумуляторъ дѣйствуетъ, какъ простая электролитная ванна, и реакціи обратны предыдущимъ. Сѣрная кислота электролизируется снова, но водородъ выдѣляется на катодѣ, а радикалъ SO_4 направляется къ аноду, гдѣ онъ соединяется съ водой, освобождая кислородъ. Все происходитъ такъ, какъ будто электролизируется вода, образовавшаяся во время разряда: водородъ выдѣляется на катодѣ, а кислородъ—на анодѣ.

Въ присутствіи сѣрнокислаго свинца, образовавшагося при разрядѣ, мы имѣемъ реакціи:

у катода:

$$PbSO_4 + H_2 = SO_4H_2 + Pb;$$

у анода:

$$PbSO_4 + O + H_2O = PbO_2 + SO_4H_2.$$

Отсюда общее уравненіе:

$$PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4 = 1PbO_2 + 2SO_4H_2 + Pb,$$

обратное уравненію разряда.

Ходъ электролиза можно, слѣдовательно, изобразить слѣдующей круговой формулой (Glastone и Tribe):

$$PbO_2 + 2SO_4H_2 + Pb \longleftrightarrow PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4,$$

которую, въ случаѣ разряда, нужно читать слѣва направо, а при заряженіи—справа на лѣво. Она свидѣтельствуетъ о полной обратимости реакціи.

II. Константы аккумулятора.

Каждый аккумуляторъ характеризуется величинами его электродвижущей силы, внутренняго сопротивленія, емкости и коэффиціента полезнаго дѣйствія.

Электродвижущая сила аккумулятора есть разность потенціаловъ, устанавливающаяся между электродами заряженнаго аккумулятора въ то время, когда онъ не даетъ тока. Она не зависитъ отъ величины аккумулятора, но зависитъ отъ вещества электродовъ, отъ вещества и концентраціи электролита, а также отъ степени заряженія или разряженія элемента.

Аккумуляторъ со свинцовыми пластинками имѣетъ электродвижущую силу около 2,1 вольта, когда онъ заряженъ.

Внутреннее сопротивленіе аккумулятора есть электрическое сопротивленіе внутренней цѣпи, образуемой электродами и электролитомъ, который ихъ раздѣляетъ. Оно зависитъ отъ величины электродовъ, степени ихъ удаленія и отъ электропроводности электролита. Внутреннее сопротивленіе свинцовыхъ аккумуляторовъ крайне слабо, выражаясь въ сотыхъ, тысячныхъ или десятитысячныхъ доляхъ ома, въ зависимости отъ величины электродовъ и сосудовъ.

Емкость аккумулятора — есть количество электричества, которое онъ можетъ дать безъ новаго зарядженія. Ее обыкновенно выражаютъ въ амперо-часахъ. Она зависитъ отъ пористости пластинокъ и степени ихъ формировки.

Однако, одна величина емкости не достаточна для опредѣленія рыночной стоимости аккумулятора. Полезно знать также, какой вѣсъ имѣютъ электроды при заданной величинѣ емкости. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда важно не загромождать пространства, и когда для помѣщенія аккумуляторовъ мѣсто ограничено, электрическую емкость аккумуляторовъ относятъ къ единицѣ ихъ объема.

Наконецъ, аккумуляторъ не выдѣляетъ всей электрической энергіи, доставленной ему при зарядѣ. Вопросъ о возвратѣ энергіи—одинъ изъ самыхъ важныхъ. Если обозначимъ черезъ Q количество электричества, поглощеннаго при зарядѣ, а черезъ Q'—количество его, выдѣленное при разряженіи, то:

$$\eta_1 = \frac{Q'}{Q}$$

будетъ выражать коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, выраженный черезъ количество электричества.

Если обозначимъ черезъ Em среднюю величину разности потенціаловъ, установившейся у зажимовъ аккумулятора во время зарядженія, и черезъ $E'm$—среднюю величину разности потенціаловъ на зажимахъ при разрядѣ, то отношеніе:

$$\eta_2 = \frac{E'm}{Em} \times \frac{Q'}{Q}$$

даетъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, выраженный черезъ энергію.

III Общая теорія щелочнаго аккумулятора желѣзо-никкель.

Не смотря на безспорныя достоинства свинцоваго аккумулятора, которымъ онъ обязанъ самыми разнообразными практическими примѣненіями, онъ все-таки не представляетъ идеала: аккумуляторъ тяжелъ; уходъ за нимъ обходится дорого; онъ легко портится; свинцовыя пластинки покрываются слоемъ сульфата; емкость аккумулятора падаетъ, если онъ остается долгое время незаряженнымъ и т. д.

Поэтому, послѣ открытія Гастона Планте, было сдѣлано много попытокъ замѣнить свинецъ какимъ-нибудь другимъ металломъ, а кислоту—другимъ электролитомъ.

Въ частности, было предложено устроить такіе элементы, въ которыхъ электролитъ не измѣнялся бы ни по составу, ни по концентраціи и игралъ бы лишь роль проводника между электродами. Для этого необходимы нѣкоторыя условія.

1) Электролитъ долженъ выдѣлять въ свободномъ видѣ одни лишь элементы растворителя, т. е. воды; значитъ, нужно брать растворы гидратовъ, металлическіе радикалы которыхъ разлагали бы воду при обыкновенной температурѣ (поташъ, сода).

2) Активныя вещества должны непосредственно присоединять кислородъ и выдѣлять его обратно; поэтому приходится пользоваться металлами, не измѣняющимися подъ дѣйствіемъ электролита, въ мелко раздробленномъ видѣ,—или же окисями этихъ металловъ.

3) Части, поддерживающія активныя вещества, не должны подвергаться дѣйствію электролита. Изъ всѣхъ металловъ никкель и мѣдь представляются для этого наиболѣе подходящими.

Если перечисленныя условія выполнены, то химическія реакціи будутъ состоять въ поперемѣнномъ окисленіи и возстановленіи активныхъ веществъ, и процессъ идетъ такъ, какъ будто бы происходилъ одинъ только переносъ кислорода отъ активнаго вещества одного электрода къ активному веществу другого.

Открытіе этого важнаго класса аккумуляторовъ приписываютъ обыкновенно Э. В. Юнгнеру (германскій патентъ 110.210 отъ 31 марта 1899 г., французскій — 288.713 отъ 10 мая 1899 г.). Однако, на преимущества неизмѣняемаго электролита впервые указалъ г. Даррьёсъ. Въ своемъ французскомъ патентѣ 233.083, отъ 27 сентября 1893 г. онъ не только упоминаетъ о нерастворимыхъ электродахъ, но, разсматривая реакціи заряженія и разряженія, говоритъ буквально слѣдущее: „все идетъ такъ, какъ будто происходитъ простое разложеніе воды и простой переносъ водорода или кислорода отъ одного полюса къ другому, и т. д.“. Тутъ именно и есть опредѣленіе неизмѣняемости электролита. Въ числѣ элементовъ, упомянутыхъ Г. Дарьёсъ, находятся слѣдующіе: висмутъ—сода или поташъ—окись мѣди; кадмій—поташъ или сода—окись мѣди (безспорное старшинство сравнительно съ патентомъ Эдисона 305.563, отъ 20 ноября 1900 г.). Наконецъ, желѣзо и никкель упоминаются на ряду съ кадміемъ, висмутомъ и мѣдью въ числѣ тѣлъ, наиболѣе пригодныхъ для электродовъ этой новой категоріи аккумуляторовъ, патентованныхъ позднѣе Юнгнеромъ и Эдисономъ [1]).

Юнгнеръ и Эдисонъ, если и не открыли, то усовершенствовали на практикѣ конструкцію элемента желѣзо—поташъ—окись никкеля. Юнгнеръ, напр., показалъ, что активное вещество на катодѣ будетъ не металлическое желѣзо, а гидратъ закиси, $Fe(OH)_2$.

Химическія реакціи, происходящія въ этомъ элементѣ, еще мало изучены, и различные изслѣдователи не всегда согласны относительно состава активнаго вещества. Вообще же очевидно, что закись никкеля анода при заряженіи переходитъ въ окись (перекись), тогда какъ окись желѣза катода возстановляется. При разряженіи происходятъ обратныя явленія, но формулы различныхъ соединеній, участвующихъ въ ходѣ реакцій, повидимому, не одинаковой природы.

Если допустить, что обратимое уравненіе элемента есть

$$Fe + KOH + Ni_2O_3 \longleftrightarrow FeO + KOH + 2NiO, \qquad (1)$$

²) Jumau. Bull. des Séances de la Société franc. de Phys., année 1905, p. 219.

то термохимическія данныя покажутъ выдѣленіе тепла въ количествѣ:

$+$ 69.000 кал. для окисленія Fe въ FeO;

$-$ 600 „ „ возстановленія Ni_2O_3 въ $2NiO$.

Итого . 68.400 кал.

Эти данныя при нашемъ допущеніи дадутъ возможность вывести приблизительную величину электродвижущей силы:

$$E = \frac{68.400}{22.300} = 1,48 \text{ вольта.}$$

Эта величина, дѣйствительно, близка къ наблюдаемой.

Однако, реакція, выраженная уравненіемъ (1), есть чисто гипотетическая. Весьма вѣроятно, напр., что степень окисленія никкеля выше, чѣмъ Ni_2O_2 (можетъ быть, NiO_3), и что окиси, участвующія въ реакціи, принимаютъ формулу гидроокисей.

По Юнгнеру, уравненіе элемента таково:

$$NiO_2 + 2Fe(OH)_2 + H_2O \longleftrightarrow NiO + 2Fe(OH)_3. \qquad (2)$$

Другіе авторы (Hibbert и Zedner) предложили болѣе сложныя формулы.

IV. Объ аккумуляторѣ Эдисона.

Первые опыты съ аккумуляторами Эдисона въ Европѣ были произведены одновременно: въ 1903 г. Жане въ Центральной электрической парижской лабораторіи [1]), Госпиталье въ Лабораторіи муниципальной школы физики и химіи города Парижа и Гиббертомъ въ Англіи.

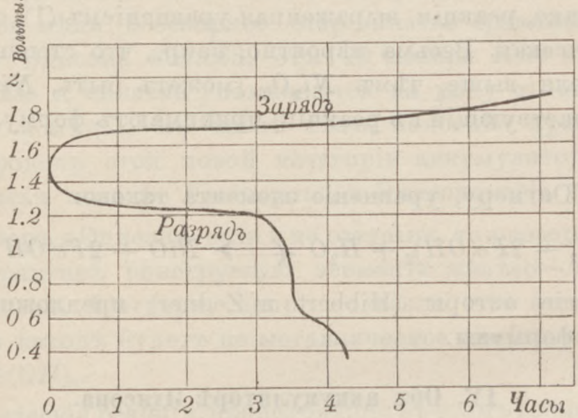
Изъ этихъ, уже немного устарѣвшихъ изысканій, ясно видны общія свойства щелочнаго аккумулятора желѣзо-никкель. Многочисленныя видоизмѣненія, которымъ онъ подвергался съ самаго начала, способствовали разработкѣ деталей, весьма важныхъ съ промышленной точки зрѣнія, но

[1]) Travaux du Laboratoire central d'électricité. T. I, p. 283.

не важныхъ по существу. Я возвращусь къ нимъ въ спеціальной главѣ.

Фиг. 1-я представляетъ общій ходъ кривыхъ заряженія и разряженія щелочнаго аккумулятора желѣзо-никкель. Полное разряженіе протекаетъ въ двѣ фазы: въ теченіе первой разность потенціаловъ сначала быстро падаетъ отъ 1,5 в. до 1,4 в. приблизительно, затѣмъ медленно понижается до 1,2 в. или 1,1 в.; наконецъ, вольтажъ быстро падаетъ отъ 1,2 в. до 0,75 в. приблизительно, образуетъ второй горизонтальный участокъ и затѣмъ сразу падаетъ.

Этотъ второй горизонтальный участокъ, образуемый кривой разряда, очень характеренъ для элемента Эдисона. Длина его равна приблизительно 10°/₀ общей продолжительности разряда.



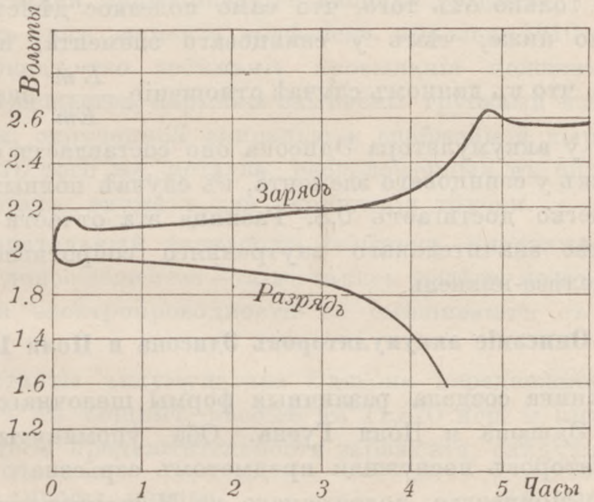
Фиг. 1.

Общій ходъ кривыхъ заряженія и разряженія щелочнаго элемента желѣзо-никкель.

Съ теоретической точки зрѣнія ясно, что два различныхъ горизонтальныхъ участка соотвѣтствуютъ въ элементѣ двумъ различнымъ химическимъ реакціямъ. Съ точки зрѣнія практической, и въ частности электромобильной, существованіе этого второго горизонтальнаго участка весьма важно: оно позволяетъ, когда нормальный запасъ энергіи истощится, продолжать двигаться въ теченіе нѣкотораго времени со скоростью до 50°/₀ нормальной.

При заряженіи увеличеніе разности потенціаловъ идетъ медленно, и максимума, какъ у кривой свинцоваго аккумулятора (фиг. 2), не наблюдается.

Средняя разность потенціаловъ аккумулятора желѣзо-никкель падаетъ очень быстро съ увеличеніемъ силы разряднаго тока. Это паденіе, болѣе быстрое чѣмъ у свинцоваго аккумулятора, обусловливается болѣе значительнымъ внутреннимъ сопротивленіемъ.



Фиг. 2.

Общій ходъ кривыхъ заряженія и разряженія свинцоваго аккумулятора.

Напротивъ того, и даже при большихъ колебаніяхъ силы разряднаго тока, емкость измѣняется весьма мало. Въ этомъ заключается безспорное преимущество передъ свинцовымъ аккумуляторомъ. Оно въ значительной степени связано съ неизмѣняемостью электролита, который не участвуетъ въ реакціи, какъ это бываетъ въ свинцовомъ аккумуляторѣ. Такъ напр., въ промежутокъ между разряженіями въ 7 ч. и 7 ч. 47 м. емкость упала всего лишь съ 21,4 до 19,6 амперъ-час., считая на 1 кгр. элемента, а энергія — съ 27,75 до 20 уаттовъ на 1 кгр.

Если сравненіе вести съ точки зрѣнія энергіи, то оказывается, что при продолжительности дѣйствія равной 5 ча-

самъ (время, особенно употребительное въ автомобильномъ дѣлѣ) элементъ Эдисона даетъ, считая на 1 кгр., столько-же энергіи, сколько ея даютъ лучшіе свинцовые аккумуляторы. При расходованіи запаса въ 3 часа энергія, свойственная элементу Эдисона, оказывается выше на 10—15%.

Сравненіе съ точки зрѣнія полезнаго дѣйствія говоритъ не въ пользу элемента Эдисона. У него оно никогда не превышаетъ 0,50. Малая величина коэффиціента происходитъ не только отъ того, что само полезное дѣйствіе количественно ниже, чѣмъ у свинцоваго элемента, но еще и отъ того, что въ данномъ случаѣ отношеніе $\frac{E'm}{Em}$ значительно меньше; у аккумулятора Эдисона оно составляетъ около 0,7, тогда какъ у свинцоваго элемента, въ случаѣ полныхъ разряженій, легко достигаетъ 0,8. Разница эта отчасти зависитъ отъ болѣе значительнаго внутренняго сопротивленія элемента желѣзо-никкель.

V. Описаніе аккумуляторовъ Эдисона и Поля Гуена.

Техника создала различныя формы щелочнаго аккумулятора Эдисона и Поля Гуена. Оба упомянутыхъ типа аккумуляторовъ послужили предметомъ серьезнаго изслѣдованія А. Монпеллье, доложеннаго на Международномъ конгрессѣ примѣненій электричества, въ Туринѣ (1911 г.). Изъ этого доклада я заимствую нижеслѣдующее.

Элементъ Эдисона, типъ 1903, содержитъ въ качествѣ электролита растворъ чистаго поташа въ дестиллированной водѣ, крѣпостью въ 20%.

Положительный электродъ состоитъ изъ стальной основы, сплошь никкелированной и имѣющей прямоугольныя отверстія, въ которыхъ расположены карманы съ активнымъ веществомъ. Это послѣднее состоитъ изъ гидрата окиси никкеля Ni_2O_3, $3H_2O$, которая въ теченіе заряженія переходитъ въ высшій окиселъ NiO_2. Такъ какъ окись никкеля плохой проводникъ, то ее смѣшиваютъ съ палочками графита, въ пропорціи 6 ч. окиси на 4 ч. графита. Смѣсь, смоченная водой и растворомъ поташа, прессуется въ формѣ брикетовъ, которые вкладываются въ карманы изъ никкелированной стали,

снабженной узкими отверстіями съ обѣихъ сторонъ. Карманы вставляютъ въ основу элемента и подвергаютъ сильному сжатію.

Отрицательный электродъ образованъ подобной же рѣшеткой, снабженной карманами съ активнымъ веществомъ, состоящимъ изъ металлическаго желѣза съ его закисью, полученной возстановленіемъ полуторахлористаго желѣза съ помощью водорода; чтобы сдѣлать ее достаточно электропроводною, къ ней примѣшиваютъ палочки графита.

Этотъ типъ элемента вытѣсненъ моделью 1910 года.

Наконецъ, во избѣжаніе просыпанія положительнаго активнаго вещества, карманы замѣнены трубками изъ стальной ленты, скрученной спиралью и снабженной дырочками. Кольца изъ того же металла, расположенныя въ опредѣленныхъ мѣстахъ, служатъ для укрѣпленія трубки.

Отрицательный электродъ снабженъ плоскими карманами. Активное вещество—та-же закись желѣза, но въ цѣляхъ улучшенія электропроводности ее смѣшиваютъ съ мѣдью и ртутью.

Константы аккумулятора Эдисона передвижного типа, модель A^8, съ общимъ вѣсомъ въ 11,870 кгр. и при наиболѣе выгодной продолжительности заряженія, слѣдующія:

Полезная емкость полная		300 амп.-час.
„ „ на 1 кгр. общ. вѣса	.	25,2 „
„ мощность „ „ „	. .	30 уатт.-час.

Въ аккумуляторѣ Поля Гуена электролитъ состоитъ изъ 22%-наго раствора—для неподвижныхъ элементовъ и 20% раствора для подвижныхъ.

Положительный электродъ состоитъ изъ продыравленныхъ никкелевыхъ трубокъ, наполненныхъ смѣсью гидроокиси никкеля съ графитнымъ порошкомъ. Каждая пластинка несетъ 33 такихъ трубки, расположенныхъ горизонтально, между двумя вертикальными никкелевыми полосами, изогнутыми такъ, что поперечное сѣченіе имѣетъ видъ буквы V. Пластинка вѣситъ 400 гр. и содержитъ около 300 гр. активнаго вещества.

Отрицательный электродъ состоитъ изъ плоской металлической тесьмы, приготовленной изъ желѣзной проволоки,

образуя родъ ленты толщиной въ 4 мм. Вѣсъ ея около 345 гр. Закись желѣза образована непосредственно на металлической тесьмѣ, иначе говоря, отрицательный электродъ автогенный, т. е. на него не нанесенъ слой активнаго вещества.

Приводимъ константы аккумулятора Поля Гуена при наиболѣе благопріятной продолжительности его дѣйствія и вѣсѣ 13 кгр.

Полезная емкость полная	430	амп.-час.
„ „ на 1 кгр. общ. вѣса . . .	26,7	„
„ мощность „ „ „ . . .	33	уатт.-час.

По Монпеллье, аккумуляторъ Гуена представляетъ нѣкоторыя преимущества передъ эдисоновскимъ. Въ аккумуляторѣ Эдисона есть одинъ важный недостатокъ, состоящій въ просыпаніи активнаго вещества положительнаго электрода. Въ аккумуляторѣ Гуена просыпаніе не совершается.

Въ аккумуляторѣ Эдисона активное положительное вещество увеличивается въ объемѣ, главнымъ образомъ во время сборки, а также и при дѣйствіи уже составленнаго аккумулятора. Поэтому Эдисонъ отчасти устранилъ этотъ недостатокъ, пользуясь гидратомъ закиси никкеля, переводимаго въ окись съ помощью либо электрохимическаго процесса, либо струи газообразнаго хлора.

Гуенъ избѣгъ этой дорогой операціи, помѣстивъ активное вещество въ продырявленныя, скрѣпленныя кольцами никкелевыя трубки. Наружный контактъ всегда очень хорошъ, что не всегда бываетъ въ аккумуляторѣ Эдисона.

Въ аккумуляторѣ Гуена стоимость изготовленія отрицательныхъ пластинокъ значительно уменьшена, она въ 6—7 разъ меньше положительныхъ. Наоборотъ, въ аккумуляторѣ Эдисона отрицательныя пластинки обходятся почти такъ же дорого, какъ и положительныя, вслѣдствіе высокой стоимости рабочей силы и употребленныхъ матеріаловъ.

Наконецъ, емкость на 1 кгр. элемента и на единицу его объема въ аккумуляторѣ Гуена нѣсколько выше.

VI. Заключеніе.

Несмотря на указанные недостатки, свинцовый аккумуляторъ былъ до сихъ поръ единственнымъ, которымъ можно

было пользоваться. Ни одинъ изъ прочихъ типовъ, предложенныхъ многочисленными изобрѣтателями, работающими въ этой области, не могъ удовлетворить требованіямъ практики. Отсюда тотъ скептицизмъ, съ которымъ электротехники встрѣтили нѣсколько лѣтъ тому назадъ появленіе щелочнаго аккумулятора желѣзо-никкель, изобрѣтеннаго Эдисономъ. Одно лишь имя изобрѣтателя служило гарантіей, что дѣло идетъ не о фантазіи; но во всякомъ случаѣ никто не думалъ, чтобы новый аккумуляторъ могъ конкурировать со своими предшественниками.

Между тѣмъ скоро пришлось признать, что онъ представляетъ „реальный интересъ", а въ настоящее время, послѣ ряда усовершенствованій, онъ, повидимому, безусловно лучше свинцоваго аккумулятора. По крайней мѣрѣ таково резюме изслѣдованія А. Монпеллье.

Укажемъ на нѣкоторыя преимущества, которыя онъ признаетъ за щелочнымъ желѣзо-никкелевымъ аккумуляторомъ.

Одинъ изъ важнѣйшихъ недостатковъ свинцоваго аккумулятора—это порча электродовъ вслѣдствіе послѣдовательныхъ заряженій и разряженій, благодаря которымъ появляются вредныя мѣстныя дѣйствія, какъ слѣдствіе образованія сульфата во время разряженія. Послѣ извѣстнаго числа разряженій пластинка даетъ трещины, ломается или коробится; такимъ образомъ уменьшается емкость элемента, и часто происходитъ короткое замыканіе,—а это послѣднее ведетъ къ быстрому разрушенію пластинъ и необходимости замѣны ихъ новыми.

Щелочный аккумуляторъ не имѣетъ этихъ недостатковъ, такъ какъ электроды не испытываютъ сколько-нибудь замѣтныхъ измѣненій и кромѣ того не деформируются,—вслѣдствіе чего возможность короткихъ замыканій обсолютно исключается.

Срокъ службы щелочныхъ аккумуляторовъ минимумъ на 10 лѣтъ больше, чѣмъ свинцовыхъ. Никкелевые зажимы и контактныя части не портятся, тогда какъ въ свинцовыхъ аккумуляторахъ, несмотря на всѣ предосторожности, они быстро выходятъ изъ употребленія.

Батарея щелочныхъ аккумуляторовъ можетъ стоять незаряженной въ продолженіе болѣе шести мѣсяцевъ безъ всякаго вреда; ее можно разрядить короткимъ замыканіемъ, тогда какъ батареи свинцовыхъ аккумуляторовъ при такомъ обращеніи быстро портятся.

Свинцовые аккумуляторы, разъ износившись, теряютъ всякую цѣну; въ щелочныхъ аккумуляторахъ содержащійся въ нихъ никкель всегда имѣетъ извѣстную стоимость.

Съ точки зрѣнія фабрикаціи и утилизаціи щелочные аккумуляторы далеко не представляютъ той опасности для здоровья, которая сопряжена съ свинцовыми; гигіеническихъ правилъ, выработанныхъ для послѣднихъ, здѣсь примѣнять не приходится.

Переходя къ вопросу объ уходѣ за батареями, мы видимъ, что свинцовые аккумуляторы ежемѣсячно нуждаются въ разборкѣ, полной промывкѣ и необходимомъ удаленіи сульфата, тогда какъ щелочный аккумуляторъ требуетъ, максимумъ, одну промывку въ три мѣсяца.

Наконецъ, при равной мощности, щелочные аккумуляторы легче и требуютъ меньше мѣста, чѣмъ свинцовые; такъ передвижные свинцовые аккумуляторы имѣютъ полезную емкость 48 – 50 уатт.-час. на 1 куб. дцм., аккумуляторы для неподвижныхъ батарей—емкость 12—15 уатт.-час., тогда какъ щелочные аккумуляторы обладаютъ соотвѣтственными емкостями въ 50—60 и 30—40 уатт.-час. на куб. дцм.

Единственное серьезное возраженіе, которое можно было бы высказать противъ употребленія щелочныхъ элементовъ въ ихъ современной конструкціи, сводится къ ихъ малому коэффиціенту полезнаго дѣйствія.

На дѣлѣ щелочный элементъ безусловно годенъ въ такихъ случаяхъ практики, гдѣ свинцовый до сихъ поръ никогда не могъ вполнѣ удовлетворить всѣмъ требованіямъ, а именно: для питанія переносныхъ лампъ, для передвиженія автомобилей и трамваевъ, для освѣщенія жел.-дорожныхъ поѣздовъ, для движенія подводныхъ лодокъ и т. д.

Монпеллье. Университетъ.

Самодѣльная складная наклонная плоскость съ электрическимъ контактомъ.

Б. Ю. Кольбе.

Находящаяся въ большомъ употребленіи для изученія законовъ паденія машина Атвуда представляетъ собою приборъ довольно сложный и потому трудный для пониманія учениковъ, особенно на первой ступени обученія физикѣ. Кромѣ того, этотъ приборъ долженъ быть очень тщательно исполненъ и прочно установленъ: или на каменномъ фундаментѣ, или на капитальной стѣнѣ, иначе сотрясеніе пола при проходѣ учениковъ въ классъ разстраиваетъ всю предварительную установку; правда, въ нѣкоторыхъ школахъ теперь полъ физическаго класса покоится на каменныхъ сводахъ, но такихъ школъ у насъ пока мало.

Другой приборъ для той-же цѣли—Галилеева наклонная плоскость—представляетъ въ этомъ отношеніи большія преимущества: для своей установки онъ не требуетъ особенныхъ условій, а по простотѣ своей конструкціи и по способу дѣйствія онъ значительно понятнѣе для учениковъ, особенно, если выводить законы паденія опытнымъ путемъ такъ, какъ около 30 лѣтъ тому назадъ совѣтовалъ мнѣ проф. Е. Махъ.

Попытки обойтись при устройствѣ такой наклонной плоскости безъ электрическаго контакта и замѣнить его подвижными легкими кружечками или чѣмъ нибудь подобнымъ не дали мнѣ желаемаго результата, почему я вновь обратился къ электрическому контакту и вотъ уже много лѣтъ съ успѣхомъ пользуюсь такой наклонной плоскостью. Недавно я улучшилъ этотъ приборъ тѣмъ, что, съ одной стороны—сдѣлалъ его складнымъ, а съ другой—введя вспомогательный желобокъ, получилъ возможность измѣрять на

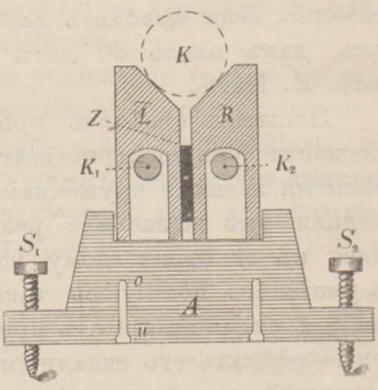
опытѣ конечную скорость. Въ такомъ видѣ приборъ встрѣтилъ одобреніе со стороны моихъ товарищей, почему я въ дальнѣйшемъ даю его описаніе.

Новое въ моемъ приборѣ, т. е. то, чего я не видалъ на другихъ аппаратахъ того-же рода, составляютъ электрическіе сигналы и различная ширина металлическихъ полосъ, которыя автоматически замыкаютъ электрическій токъ; ширина ихъ пропорціональна конечной скорости въ соотвѣтствующій моментъ, благодаря чему оказывается постояннымъ промежутокъ времени, въ теченіе котораго электрическій токъ остается замкнутымъ.

Длина собраннаго аппарата 135 + 55 + 20 = 210 см., поэтому аппаратъ можетъ умѣститься на каждомъ экспериментальномъ столѣ; стоимость его при сомодѣльной работѣ около 6 рублей: 4 деревянныхъ шины длиной по 2 метра—3 руб., 1 никкелированный мѣдный шарикъ діаметромъ въ 25 мм. — 1 рубль у М. Коля, немного тонкой латунной жести—35 коп., 2 зажима съ винтами—15 коп., алюминіевая жесть—10 коп., проволока и шурупы—50 коп., 1 маленькій электрическій звонокъ -1 рубль. Кромѣ того нужно имѣть: метрономъ (или секундный маятникъ) и гальваническую батарею; достаточно 3 свѣжихъ элемента Лекланше, соединенныхъ послѣдовательно.

I. Устройство наклонной плоскости.

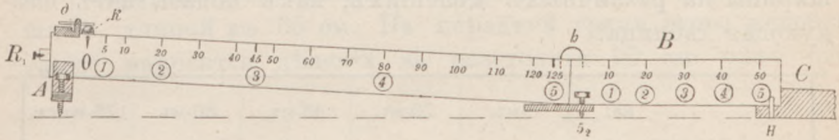
Желобъ, по которому скатывается шарикъ, образованъ двумя прямоугольными деревянными шинами, изъ которыхъ каждая имѣетъ вдоль одного длиннаго ребра скосъ; составленныя скосами другъ къ другу эти шины даютъ двугранный желобъ (фиг. 1).



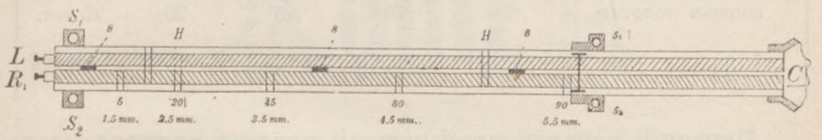
Фиг. 1.

Шины вырѣзываются изъ сухого выдержаннаго сосноваго дерева, безъ сучьевъ. Длина ихъ 135 см., наибольшая вышина 60 мм. Фиг. 1-я даетъ эти шины въ разрѣзѣ. Лѣвая

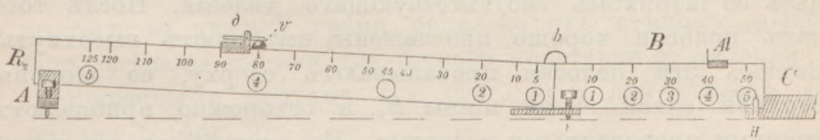
шина *L* (на фиг. 2 и 4 — задняя) накладывается соотвѣтственнымъ образомъ на вторую и крѣпко съ ней связывается. Послѣ этого въ двухъ мѣстахъ (*HH* фиг. 3) обѣ шины пробуравливаются, лѣвая насквозь, правая (R_1 и R_2) до ³/₄ ея толщины (діам. отверстія 5 мм.). Затѣмъ шину *L* обклеиваютъ кругомъ оловянной бумагой при помощи крахмальнаго клейстера и осторожно разглаживаютъ, особенно тщательно по той грани, по которой долженъ скатываться шарикъ.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Изъ болѣе твердаго дерева (буковаго или березоваго) приготовляются шипы. Цилиндрическій конецъ шипа заклеивается въ отверстіе шины *L*; слегка коническій свободный конецъ долженъ легко входить въ углубленіе шины R_1 или R_2, но не долженъ болтаться въ немъ. Изъ тонкой латунной жести вырѣзываютъ длинныя полоски шириной въ 15 мм.; ихъ накладываютъ плотно на нижнюю грань шины *L*, прокалываютъ и пробиваютъ проволочными гвоздями. У начала шины *A* (фиг. 2) концы полосокъ загибаютъ вверхъ и привинчиваютъ къ шинѣ зажимомъ *K* (фиг. 1). Если латунныя полоски состоятъ изъ двухъ частей, то концы ихъ спаиваютъ тинолемъ, и спаянное мѣсто пробивается особымъ гвоздемъ.

На передней сторонѣ шинъ R_1 и R_2 сначала карандашемъ наносятся дѣленія и надписывается верхній рядъ маленькихъ цифръ. (На шинѣ R_1 шкала оканчивается 125-мъ сантиметромъ, на 4 см. отъ нижняго праваго края; на шинѣ R_2 она тамъ начинается). Дѣленія наносятся черезъ каждые 10 см.—за исключеніемъ 5-го, 45-го и 125-го см.; при такихъ промежуткахъ они достаточно хорошо видны.

Въ пяти мѣстахъ шина R_1 обклеивается кругомъ сложенными въ 2 ряда полосками оловянной бумаги различной ширины на различныхъ дѣленіяхъ, какъ показываетъ слѣдующая таблица:

на:	5-мъ	20-мъ	45-мъ	80-мъ	125-мъ см.
ширина полоски .	5	10	15	20	25 мм.
т. е.	5 мм.×1	5 мм.×2	5 мм.×3	5 мм.×4	5 мм.×5

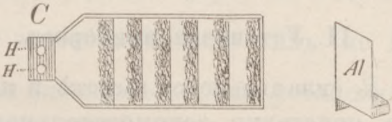
Передній верхній край каждой полоски долженъ совпадать со штрихомъ соотвѣтствующаго дѣленія. Послѣ того какъ полоски хорошо проглажены, имъ даютъ высохнуть. Затѣмъ эти полоски прокалываютъ сверху, со стороны верхней узкой грани шины R_1, и осторожно прибиваютъ тонкими проволочными гвоздями. Къ нижней грани шины придѣлываютъ совершенно такъ-же, какъ къ шинѣ L, полоски изъ латунной жести и привинчиваютъ такой-же зажимъ K_2 (фиг. 1). Слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы черезъ каждую полоску оловянной бумаги проходилъ гвоздь, прикрѣпляющій латунную полоску; лучше было-бы брать маленькіе винтики. Затѣмъ на передней сторонѣ шины разрѣзываютъ полоски оловянной бумаги у верхняго и нижняго ребра и снимаютъ ихъ съ этой грани.

Переднія грани обѣихъ шинъ R_1 и R_2 покрываютъ сбитымъ яичнымъ бѣлкомъ. Послѣ того какъ онѣ высохнутъ, на нихъ наносятъ дѣленія и цифры тушью, а при O красной краской. Чтобы сдѣлать нижнія, большія цифры болѣе видными, ихъ рисуютъ на бумажныхъ кружкахъ и послѣдніе приклеиваютъ. Наконецъ ту грань, по которой долженъ скатываться

шарикъ, протираютъ холоднымъ стеариномъ и затѣмъ шерстяной тряпкой.

Къ внутренней сторонѣ шины *L* тонкими гвоздями прибиваютъ полоски изъ толстой папки *Z* (фиг. 1 и 3), чтобы у шинъ не было металлическаго соединенія; во избѣжаніе того-же эти папковыя полоски не должны накладываться на полоски оловянной бумаги шины R_1. На внутренней сторонѣ шины R_1 металлическія полоски можно оклеить бумагой.

Болѣе короткій вспомогательный желобокъ *B* (фиг. 2 и 3) изготовляется такимъ-же образомъ изъ 2 деревянныхъ шинъ, длиной въ 55 см. На передней грани этого желобка также наносятся дѣленія на разстояніи 10 см. одно отъ

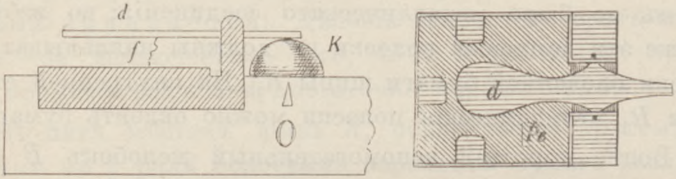


Фиг. 5.

другого; на нижней грани недалеко отъ концовъ должны быть сдѣланы выемки для шиповъ подставки съ маленькими установочными винтами $s_1\, s_2$ (фиг. 3) и для шиповъ *HH* ящичка *C* (фиг. 5).

Подставка *A* (фиг. 1) сдѣлана изъ остатковъ шинъ; къ ней привинчена дощечка изъ твердаго дерева, отверстія въ которой должны быть пробуравлены раньше. Длинные установочные винты сдѣланы изъ 10-ти сантиметровыхъ шуруповъ; верхняя гладкая цилиндрическая часть ихъ на разстояніи приблизительно 10 мм. отъ конца нарѣзки отпиливается и оставшаяся часть опиливается такъ, чтобы она была четырехгранной. Въ серединѣ толстой латунной пластинки (16 $\times$ 16 мм.) пробуравливается отверстіе, которое расширяется при помощи стальной квадратной головки (или четырехграннаго гвоздя) до тѣхъ поръ, пока въ него не будетъ входить верхній конецъ шурупа, послѣ чего пластинка спаивается съ шурупомъ. Нижній острый конецъ шурупа спиливается плоско.

Ящичекъ для остановки шарика C (фиг. 6), длиной около 25 см., склеивается изъ папки, высота стѣнокъ 40 мм. Ящичекъ приколачивается къ деревянному бруску съ двумя



Фиг. 6.

шипами HH (фиг. 5). На дно ящичка, поперекъ его, кладутъ нѣсколько валиковъ изъ ваты, чтобы не дать шарику выскочить отъ удара.

II. Установка приборовъ.

Шины L и R_1 складываются вмѣстѣ и нижнимъ концомъ помѣщаются на подставку вспомогательнаго желобка. Оба желобка, длинный и вспомогательный, скрѣпляются двумя дугами изъ толстой проволоки b (фиг. 2 и 4); для этихъ проволокъ приготовляются раньше соотвѣтствующія отверстія. Верхній конецъ длиннаго желоба помѣщается на подставку съ большими установочными винтами.

Затѣмъ заставляютъ шарикъ медленно скатываться и регулируютъ маленькіе установочные винты такъ, чтобы вдоль вспомогательнаго желобка шарикъ катился равномѣрнымъ движеніемъ. Это особенно важно для указанныхъ въ концѣ статьи опытовъ съ шиной R_2.

Послѣ этого регулируютъ большіе установочные винты S_1S_2 (фиг. 1) такъ, чтобы выпущенный на нулевомъ дѣленіи шарикъ проходилъ все разстояніе въ 125 см. точно въ 5 секундъ; тогда электрическій звонокъ долженъ отбивать секунды.

Приспособленіе для спуска шарика показано на фиг. 6-й. Оно состоитъ изъ двухъ полосокъ тонкой латунной жести, наложенныхъ одна на другую и спаянныхъ. Края нижней полоски отогнуты внизъ такъ, чтобы они охватывали желобъ. Края верхней пластинки согнуты такъ, что она образуетъ ящичекъ съ тремя вертикальными стѣнками, высотой въ 4 мм.; кромѣ того, каждая изъ этихъ стѣнокъ имѣетъ язычекъ, который будетъ потомъ загибаться на вложенную

свинцовую пластинку. На передней сторонѣ верхней пластинки припаивается U-образная стойка для оси спускного рычага. Въ получившуюся въ верхней пластинкѣ коробочку вкладываютъ подходящихъ размѣровъ свинцовую пластинку, размѣры которой въ моемъ приборѣ равны 50 × 40 × 4 мм., и на нее загибаютъ упомянутые выше язычки стѣнокъ латунной коробочки. Въ свинцовой пластинкѣ предварительно продѣлываютъ узкое отверстіе для конца пружины, которая должна подпирать одинъ конецъ спускного рычага (фиг. 6) настолько, чтобы другой конецъ не сильно прижималъ шарикъ къ стѣнкамъ желоба. Если нажать на конецъ *d*, шарикъ сейчасъ-же начнетъ скатываться. При спускѣ шарика подъ ударъ метронома слѣдуетъ громко сказать „нуль" и потомъ считать: „разъ", „два", „три" и т. д.

III. Выводъ законовъ паденія тѣлъ (по Маху).

Если наклонная плоскость хорошо установлена, то удары электрическаго звонка совпадаютъ съ секундными ударами метронома. Тогда мы получаемъ непосредственно:

Время паденія . . .	0	1	2	3	4	5 сек.
Пройденный путь . .	0	5	20	45	80	125 см.

Числа эти, полученныя путемъ прямого наблюденія, являются основными; они даютъ намъ всѣ законы паденія. Ученикамъ можно говорить приблизительно такъ: измѣреніями было найдено, что свободно падающее тѣло въ первую секунду паденія проходитъ 5 м., т. е., оно падаетъ ровно въ 100 разъ быстрѣе, чѣмъ скатывается нашъ шарикъ. Будемъ поэтому для свободнаго паденія ставить „метръ" вмѣсто „сантиметръ"; тогда получимъ:

Время паденія.	0	1	2	3	4	5 сек.
Пройденный путь	0	5	20	45	80	125 м.
или.	0	5 м. × 1	5 м. × 4	5 м. × 9	5 м. × 16	5 м. × 25
т. е.	5 м. × 0	5 м. × 1^2	5 м. × 2^2	5 м. × 3^2	5 м. × 4^2	5 м. × 5^2

I. Путь, пройденный свободно падающимъ тѣломъ, пропорціоналенъ квадрату времени паденія. Постоянный множитель 5 м.

Если мы выпишемъ разности между каждыми двумя сосѣдними основными числами, то получимъ пути, пройденные падающимъ тѣломъ за каждую отдѣльную секунду паденія:

Время	0	1 сек.	2 сек.	3 сек.	4 сек.	5 сек.
Весь пройд. путь .	0	5 м.	20 м.	45 м.	80 м.	125 м.
Т. е. за одну . .	—	1-ю сек.	2-ю сек.	3-ю сек.	4-ю сек.	5-ю сек.
Пройдено	—	5 м.	15 м.	25 м.	35 м.	45 м.
или	—	5 м. $\times$ 1	5 м. $\times$ 3	5 м. $\times$ 5	5 м. $\times$ 7	5 м. $\times$ 9

II. Пути, пройденные свободно падающимъ тѣломъ за отдѣльныя секунды, возрастаютъ пропорціонально натуральному ряду нечетныхъ чиселъ. Постоянный множитель 5 м.

Если мы опять выпишемъ разности чиселъ этого второго ряда, то получимъ приращеніе скорости за каждую секунду, т. е. ускореніе:

	5 м.		15 м.		25 м.		35 м.		45 м.
Ускореніе		10 м.		10 м.		10 м.		10 м.	

III. Ускореніе свободно падающаго тѣла остается постояннымъ и равняется 10 м/сек^2.

Отсюда выходитъ, что при начальной скорости равной нулю, скорости въ концѣ каждой секунды равны, 10, 20, 30, ... , или

Въ концѣ . . .	0 сек.	1-й сек.	2-й сек.	3-й сек.	t сек.
Скорость . . .	0	10 $\times$ 1	10 $\times$ 2	10 $\times$ 3	10 $\times$ t

IV. Скорости, пріобрѣтаемыя свободно падающимъ тѣломъ въ концѣ каждой секунды, пропорціональны времени паденія. Постоянный множитель здѣсь 10.

Это можно провѣрить на приборѣ.

Замѣняемъ шину R_1 шиной R_2, ставимъ шарикъ, напр., на 80 см. отъ нижняго края и на вспомогательномъ желобкѣ алюминіевую пластинку *Al* (фиг. 2 и 4) на $10 \times 4 = 40$ см. [1]) По наклонному желобу шарикъ долженъ катиться 4 сек. и еще 1 сек. по горизонтальному. При ударѣ метронома я считаю „нуль“ и одновременно отпускаю шарикъ, затѣмъ „разъ“, „два“, „три“, ... и, дѣйствительно, при счетѣ „пять“ шарикъ ударяется объ алюминіевую пластинку. Точно такъ-же ожидаемый результатъ получается и при установкѣ шарика на 125 см., 45 см. и 20 см.; при установкѣ шарика на 5 см., т. е. при времени паденія въ 1 сек., приборъ требуетъ очень тщательной установки, такъ какъ тутъ проявляетъ замѣтное дѣйствіе треніе.

Я считалъ-бы ошибочнымъ указывать въ началѣ, особенно на первой ступени обученія физикѣ, что ускореніе составляетъ не ровно 10 м/с.^{2}, а 9,81 м/с.^{2}; употреблять болѣе точное значеніе при какихъ-нибудь вычисленіяхъ я считаю прямо недопустимымъ, такъ какъ въ сущности законы паденія тѣлъ выведены для безвоздушнаго пространства, и g, какъ извѣстно, есть величина перемѣнная.

Описанный приборъ можно получать отъ фирмъ: Max Kohl. A. g. (Chemnitz), Leppin und Masche (Berlin), Ferdinand Ernecke (Berlin-Tempelhof), E. Leybold's Nachf. (Cöln a/R) и Е. С. Трындина С-ья (Москва).

С.-Петербургъ.

---

[1]) Пластинка должна отстоять отъ соотвѣтственнаго дѣленія на величину радіуса шара (12,5 мм.). Для удобства можно у отогнутаго края укрѣпить язычекъ соотвѣтственной длины.

Измѣреніе скорости звука.

Р. Бургиньона[1]).

Теорія. На концѣ A (фиг. 1) длинной трубы, закрытой съ обоихъ концовъ, производится внезапное сжатіе воздуха, которое распространяется до противоположнаго конца B, встрѣчаетъ здѣсь чувствительную капсюлю Марея C и дѣйствуетъ на нее, послѣ чего отражается къ концу A, а отъ него вновь къ концу B, гдѣ вторично дѣйствуетъ на капсюлю Марея и т. д.

Перемѣщенія перышка капсюли записываются на закопченной пластинкѣ, на которой одновременно отмѣчаются колебанія камертона; такимъ образомъ измѣряется время двойного пробѣга звуковой волны.

Опытъ. Труба, которою я пользовался, имѣла въ длину между пробками 5,85 м.; ея діаметръ равнялся 5 см., а камертонъ дѣлалъ 256 колебаній въ секунду.

Такъ какъ я не имѣлъ въ своемъ распоряженіи настоящей капсюли Марея, то я построилъ себѣ таковую при помощи небольшой деревянной плоской коробочки и деревянныхъ стерженьковъ, изъ которыхъ я сдѣлалъ необходимыя сочлененія и рычаги. На эту коробку я натянулъ тонкую резину, плотно ее привязалъ ниткою и покрылъ нитку и коробку лакомъ. Капсюля и камертонъ были укрѣплены на общей подставкѣ E, какъ показано на фиг. 1-й, причемъ капсюля могла принимать всякое положеніе, вслѣдствіе чего перышко легко было установить и урегулировать относительно закопченной стеклянной пластинки.

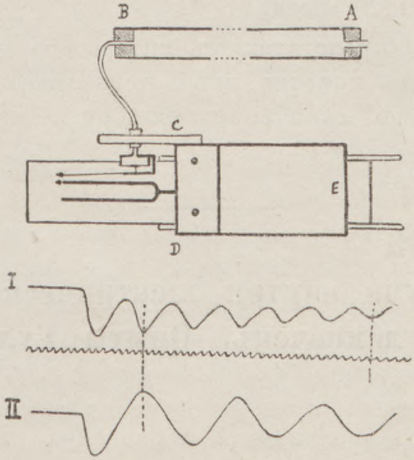
Сжатіе въ A я производилъ пистолетнымъ выстрѣломъ при помощи маленькихъ холостыхъ патроновъ; оно удавалось также при простомъ хлопаніи въ ладони.

---

[1]) R. Bourguignon. Bulletin de l'Union des Physiciens. № 65, 1913.

За нѣсколько мгновеній до выстрѣла я возбуждалъ камертонъ и легкимъ вращеніемъ около оси *CD* прижималъ перышки капсюли и камертона къ закопченной пластинкѣ, которую мой помощникъ перемѣщалъ отъ руки. Такимъ образомъ я получалъ запись на сажѣ, а подложивъ подъ стеклянную пластинку фотографическую бумагу—отпечатки (I и II фиг. 1), по которымъ легко производилъ измѣренія времени.

Результаты. I кривая изображаетъ 10 максимумовъ, которые легко промѣрить. Полный пробѣгъ звука равенъ,



Фиг. 1.

стало быть, $10 \times 2 \times 5,85 = 117$ м. Время равно 88,25 колебаніямъ камертона. Отсюда скорость при 15° С.

$$V = \frac{117 \times 256}{88,25} = 339,3 \text{ м/сек.}$$

Опытъ съ открытою трубою. Я вынимаю пробку въ отверстіи *A* и произвожу выстрѣлъ. Въ этомъ случаѣ первая волна, дѣйствующая на капсюлю Марея въ *B*, есть сгущенная, а послѣ отраженія въ концѣ *A* она превращается въ разрѣженную. Подъ вліяніемъ этого разрѣженія перышко даетъ зубецъ, направленный въ сторону противоположную сравнительно съ предъидущимъ (II фиг. 1).

Продѣлавъ новое вычисленіе и исправивъ длину трубы на длину пробки въ *A* равную + 0,05 м., я нашелъ, что скорость звука въ этомъ случаѣ равна 328,3 м/сек. Полученное число явно мало и показываетъ, что отраженіе не происходитъ въ точности у отверстія *A*, и что здѣсь необходимо ввести соотвѣтственную поправку.

Опыты съ углекислотою и водородомъ. Я наполнилъ свою трубу сначала углекислотою, а потомъ водородомъ и продѣлалъ тѣ же измѣренія съ закрытою трубою, которыя описалъ въ самомъ началѣ. Такимъ образомъ я нашелъ, что скорость звука въ углекислотѣ равна 283 м/сек., а въ водородѣ 1220 м/сек.

Эти опыты представляютъ интересное примѣненіе графическаго метода; конечно, здѣсь есть нѣкоторые источники погрѣшностей, но въ общемъ ошибки не велики и не превышаютъ 2—5%.

Катодные лучи внутри электрическихъ калильныхъ лампочекъ. Опыты Гулевига.

Если питать угольную электрическую лампочку токомъ бо́льшаго напряженія, чѣмъ для котораго она предназначена, напримѣръ, лампочку въ 50 вольтъ токомъ съ напряженіемъ въ 75 вольтъ, то замѣчаютъ, что вся стеклянная группа озаряется внутри синеватымъ свѣтомъ, который при спектроскопическомъ изслѣдованіи показываетъ линію ртути. По истеченіи 2—3 минутъ свѣченіе исчезаетъ само собою; какъ показалъ опытъ, это происходитъ вслѣдствіе выдѣленія газовъ изъ стеклянной оболочки лампочки или изъ свѣтящей нити. При введеніи подковообразнаго магнита можно сконцентрировать свѣченіе на силовой трубкѣ, которая проходитъ черезъ свѣтящуюся нить.

Эти явленія были изслѣдованы проф. Гулевигомъ. Они происходятъ отъ электроновъ, посылаемыхъ свѣтящейся нитью; встрѣчая внутри стеклянной оболочки лампочки

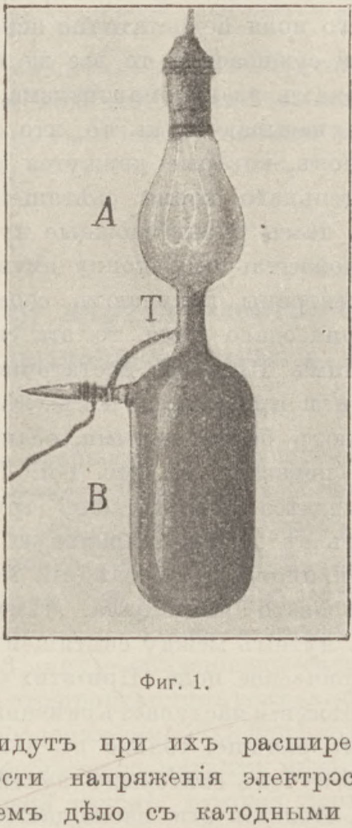
оставшіеся въ ней послѣ разрѣженія слѣды ртутныхъ паровъ, они вызываютъ свѣченіе паровъ.

Если къ означенной стеклянной оболочкѣ припаять стеклянные сосуды различной формы и соединить аппаратъ съ воздушнымъ насосомъ, то можно замѣтить, что свѣченіе попадаетъ и въ эти сосуды и тѣмъ дальше, чѣмъ лучше разрѣженіе и чѣмъ горячѣе свѣтящая нить. Если въ аппаратъ вставить электроды и держать ихъ при различныхъ напряженіяхъ, то свѣченіе пріобрѣтаетъ свойства отрицательной электрической газовой массы, т. е. притягивается положительными зарядами и отталкивается отрицательными. Дѣйствіе же магнитнаго поля недостаточно ясно выражено; если свѣченіе немного и суживается, то все же боковаго отклоненія, согласно законамъ электромагнитизма, не наблюдается.

Эти явленія указываютъ на то, что свѣченіе происходитъ отъ электроновъ, которые движутся въ разбросанномъ видѣ отъ отрицательнаго конца свѣтящей нити во внутрь сосуда, проходятъ тамъ очень сложные пути и затѣмъ возвращаются къ положительному концу нити. Если предположить, что эти электроны получаютъ свою скорость подъ дѣйствіемъ электрическаго поля, то эта скорость окажется, согласно измѣреніямъ Штарка, достаточной, чтобы іонизировать пары ртути и привести ихъ къ свѣченію.

Явленія дѣлаютъ болѣе ясными, если опытъ расположить такъ, какъ показано на фиг. 1-й. Груша калильной лампочки *A* соединяется посредствомъ трубки съ сосудомъ *B*, который имѣетъ въ *T* или спиральную платиновую проволоку, или пустой цилиндръ; послѣдній можетъ быть доведенъ до болѣе высокаго потенціала, чѣмъ свѣтящая нить лампочки; такимъ путемъ между свѣтящей нитью и *T* устанавливается электрическое поле. При этихъ условіяхъ и при достаточномъ разрѣженіи наступаетъ свѣченіе въ сосудѣ *B*, о которомъ шла рѣчь раньше, только въ немъ замѣчается гораздо болѣе яркій пучекъ свѣтовыхъ лучей съ вполнѣ опредѣленной формой. Явленія эти наблюдаются и тогда, когда лампочка имѣетъ нормальный потенціалъ; но все же можно небольшимъ измѣненіемъ условій работы лампы или измѣненіемъ электрическаго поля чувствительно повліять на данное явленіе.

Характернымъ для даннаго свѣтового пучка является чрезмѣрная его чувствительность по отношенію къ дѣйствію магнитовъ; даже поле земного магнитизма и то производитъ замѣтное отклоненіе. Отклоненія соотвѣтствуютъ электромагнитнымъ законамъ, если предположить, что пучекъ лучей обусловленъ электронами, идущими отъ свѣтовой нити черезъ электрическое поле въ сосудъ. Что законы подтверждаются количественно, это Гулевигъ доказываетъ слѣдующими опытами. Такъ какъ исходящія отъ свѣтящей нити электри-



Фиг. 1.

ческія частицы идутъ при ихъ расширеніи въ образовавшееся отъ разности напряженія электростатическое поле, то здѣсь мы имѣемъ дѣло съ катодными излученіями. Согласно наблюденному радіусу кривизны можно вычислить ихъ скорость, равную 5260 км. въ секунду. Слѣдовательно, мы имѣемъ здѣсь медленныя катодныя излученія, которыя находятся между лучами, встрѣчающимися въ обыкновен-

ныхъ Рентгеновскихъ трубкахъ и трубкахъ Ленарда, Венельта и т. д. и которыя получаются съ помощью ультрафіолетоваго свѣта или съ помощью катода, покрытаго окисью и накаленнаго вспомогательнымъ токомъ. Гулевигъ испытывалъ далѣе съ помощью платиновыхъ электродовъ, которые онъ укрѣплялъ въ различныхъ точкахъ сосуда *B* и соединялъ съ электрометромъ, распредѣленіе потенціала внутри сосуда *B*. Въ началѣ получилось, что если свѣченія не было видно ни въ грушѣ *A*, ни въ соединительной трубкѣ *T*, ни въ сосудѣ *B*, то вездѣ былъ потенціалъ свѣтящей нити. Если же внутри сосуда образовалось свѣченіе, то потенціалъ имѣлъ разныя значенія, отъ потенціала свѣтящей нити до потенціала соединительной трубки *T*. На границѣ свѣченія и темной части наблюдалось внезапное измѣненіе потенціала, причемъ потенціалъ свѣченія всегда выше. Въ свѣченіи имѣется, стало быть, электрическое поле, исходящее отъ соединительной трубки; это поле должно замедлять распространеніе электроновъ внутри сосуда *B*. Посредствомъ повышенія напряженія, т. е. температуры свѣтящей нити, скорость катодныхъ лучей значительно уменьшается.

Съ описаннымъ выше приспособленіемъ Гулевигу удалось произвести чувствительное отраженіе пучка катодныхъ лучей. Эта особенность отличаетъ данные лучи отъ обыкновенныхъ „быстрыхъ“ катодныхъ лучей; въ то время какъ быстрые катодные лучи проникаютъ въ стѣну, не будучи отраженными отъ нея, медленные лучи испытываютъ отраженіе, но не проникаютъ въ стѣну, не образуютъ Рентгеновскихъ лучей значительной силы и не вызываютъ флуоресценціи. *Инж.-электр. П. Стабинскій.*

С.-Петербургъ.

Аэропланъ-гигантъ.

Е. Гальперинъ-Каминскаго[1]).

Нѣсколько времени тому назадъ петербургскій корреспондентъ спортивнаго журнала „Аэро“ сообщилъ по те-

---

[1]) L'Illustration, № 3676, 1913.

леграфу новость о гигантскомъ аэропланѣ „Большомъ“, построенномъ молодымъ студентомъ Петербургскаго Технологическаго Института,- Игоремъ Сикорскимъ. Описаніе этого настоящаго воздушнаго корабля, болѣе тяжелаго, чѣмъ воздухъ, показалось всѣмъ настолько необычайнымъ, что многіе усомнились въ его реальности.

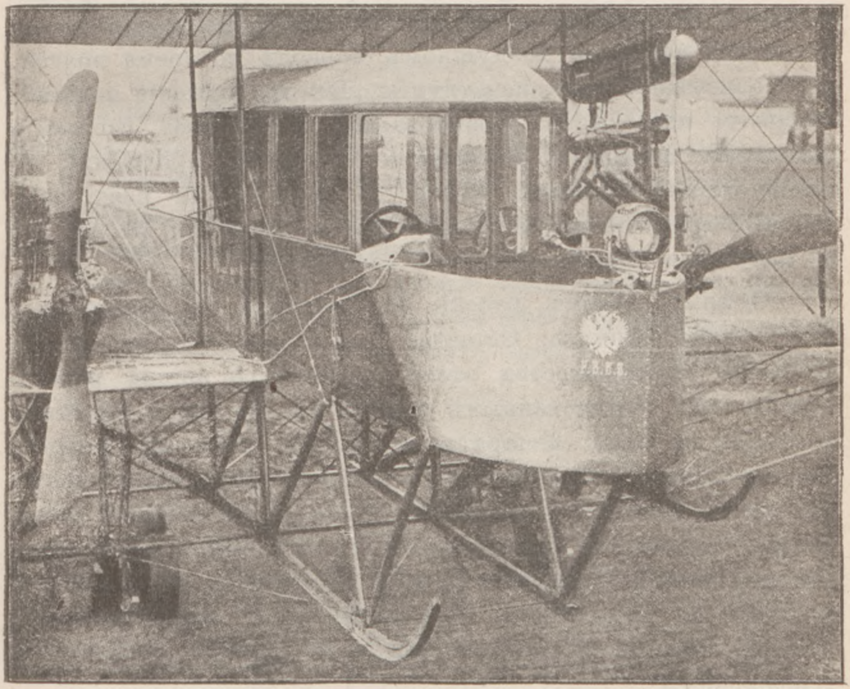
И въ самомъ дѣлѣ, если въ области авіаціи Россія занимаетъ послѣ Франціи первое мѣсто по числу своихъ аппаратовъ и своихъ пилотовъ, то въ отношеніи конструкціи она стоитъ позади большей части государствъ, имѣющихъ собственную авіаціонную промышленность. Въ этой области она платитъ дань главнымъ образомъ французской промышленности.

Впрочемъ, всѣ знаютъ, какая долгая практика необходима для того, чтобы достигнуть нѣкотораго успѣха въ этой новой отрасли промышленности, и до настоящаго времени всѣ иниціативы въ этомъ отношеніи принадлежали одной Франціи. И вотъ мы теперь узнаемъ, что въ странѣ, казалось-бы менѣе всего къ тому подготовленной, построенъ аппаратъ, дѣйствительно необычайный, какъ по своему смѣлому замыслу, такъ и по его выполненію; этому аппарату повидимому суждено открыть новые пути въ воздухоплаваніи.

Аппаратъ Сикорскаго представляетъ изъ себя бипланъ, верхняя поддерживающая поверхность котораго больше нижней; длина его крыльевъ равна 27 метрамъ; общая его величина достигаетъ 130 кв. метровъ. Вѣсъ аппарата 1300 кгр. Онъ можетъ поднять кромѣ своего экипажа и 10 пассажировъ еще запасъ топлива и припасовъ на двадцать четыре часа пути, плюсъ нагрузку въ 800 кгр.

Для этой цѣли онъ снабженъ четырьмя автомобильными моторами, по 100 лошадиныхъ силъ каждый; они приводятъ въ движеніе четыре винта. Остовъ аппарата сдѣланъ изъ дерева; впереди устроенъ открытый балконъ для наблюдателя (фиг. 1). За балкономъ находится помѣстительная застекленная каюта для двухъ пилотовъ съ двумя маховиками для управленія машинами. Дальше идетъ большая каюта для пассажировъ, склады для запасовъ, инструментовъ и т. п., затѣмъ корридоръ и, наконецъ, еще третья каюта съ диваномъ для отдыха и сна.

Такое расположенiе даетъ пилотамъ возможность смѣняться, а механикамъ наблюдать, и, въ случаѣ надобности, регулировать моторы во время полета. Этотъ аппаратъ можетъ продолжать свой путь всего съ двумя или тремя моторами. Не смотря на свою громадную массу, „Большой" можетъ все таки развить скорость, достигающую до 100 километровъ въ часъ.



Фиг. 1.

На аэропланѣ Сикорскаго былъ уже совершенъ рядъ полетовъ, и самый длинный изъ нихъ продолжался два часа при средней высотѣ въ 500 метровъ. Во время этихъ полетовъ былъ произведенъ рядъ опытовъ, въ теченiе которыхъ пилоты свободно смѣнялись, а пассажиры гуляли по каютамъ и даже выходили на переднiй балконъ. Затѣмъ попробовали остановить одинъ моторъ, потомъ другой, но аппаратъ про-

должалъ свой правильный полетъ даже и тогда, когда оба мотора были остановлены съ одной стороны.

Сообщенія объ этой послѣдней особенности вызвали недовѣріе, пока онѣ не были подтверждены телеграммами, полученными во Франціи. И дѣйствительно, „Большой" отлично леталъ въ Петербургѣ въ присутствіи компетентныхъ русскихъ авторитетовъ и цѣлой толпы зрителей, съ интересомъ слѣдившей за его полетомъ надъ городомъ.

Одинъ изъ редакторовъ „Вечерняго Времени" въ С.-Петербургѣ, который въ числѣ другихъ четырехъ пассажировъ находился на этомъ воздушномъ кораблѣ во время полета, такъ описываетъ свое впечатлѣніе: „Въ продолженіе полета", говоритъ онъ, „ясно чувствовалось устойчивое состояніе равновѣсія аппарата. Пассажиры и пилоты проходили съ одного конца большой каюты до другого, на разстояніи равномъ тремъ метрамъ, дѣлали рѣзкія движенія, но все это не нарушало правильнаго хода аэроплана".

Однимъ словомъ, русскіе въ восторгѣ отъ изобрѣтенія ихъ соотечественника. Остается только выяснить еще болѣе подробно преимущества этого гигантскаго авіона передъ аэропланами обыкновенныхъ размѣровъ. Но наши союзники смотрятъ на этотъ аппаратъ не только, какъ на средство для передвиженія пассажировъ и товаровъ; онъ представляетъ для нихъ интересъ главнымъ образомъ съ военной точки зрѣнія. Достаточно будетъ привести здѣсь мнѣніе профессора Петербургскаго Технологическаго Института—г. Лангового, который на страницахъ „Новаго Времени" предсказываетъ близкій конецъ „Цеппелиновъ" и блестящую будущность „Сикорскимъ".
